

CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES.

1.1 Introducción

Desde hace tiempo, el cambio climático ha dejado de ser una curiosidad científica. No sólo es una de las muchas preocupaciones ambientales y de regulación sino es el principal reto ambiental que afrontan actualmente los tomadores de decisiones, planificadores y reguladores.

Bolivia es un país mega diverso por la variedad de recursos, flora y fauna que posee, lastimosamente por el cambio climático que ha sufrido se encuentra en una situación conflictiva por el recurso agua, aunque en diferentes partes del país existe abundancia de este recurso.

Según relato de Jesús Alanoca en un artículo nos dice que: Entre 2006 a 2015 el Gobierno nacional invirtió 8 mil millones de bolivianos para el acceso a agua en distintos proyectos como: MI RIEGO I Y II, MI AGUA II priorizando el uso de las tuberías para evitar pérdidas de agua, según información proporcionada en la conmemoración del Día Mundial del agua.¹

Motivo por el cual urge la necesidad de mantener los recursos hídricos con un equilibrio dentro de la inversión económica. Enfrentándonos a decisiones difíciles sobre el tipo de infraestructuras y los materiales a utilizar.

Desde la última década nos encontramos con el hecho de que en el mercado compite un determinado número de tuberías de distintos materiales para el uso en la conducción del agua, *las metálicas* (tubos de hierro fundido, tubos de acero, tubos de cobre y de bronce), *no metálicas* (tubos de fibrocemento, tubos de hormigón, tubos cerámicos y de hormigón armado) y las *plásticas* (el PVC o cloruro de polivinilo, el ABS o acrilonitrilo butadieno estireno; CPVC o cloruro de polivinilo clorado, el polietileno o PE; PRFV o plástico reforzado con fibra de vidrio, etc.), por otra parte, no existen reglas precisas que posibiliten la selección más adecuada a los requerimientos de cada

¹ (EL DEBER, 2016)

proyecto en particular, la que queda supeditada a criterios o simpatías de los proyectistas, las más de las veces, sin fundamentos en criterios ingenieriles.

Si se tiene en cuenta que en la mayoría de los proyectos de aprovechamiento hídrico como ser: riego y saneamiento básico, el ítem de *“Tuberías Instaladas”*, representa en la mayoría de los casos el porcentaje más elevado de las inversiones a realizar (alrededor del 70%), surge claramente la ventaja económica de una selección apropiada de los materiales a seleccionar.

Por otra parte las teorías y metodologías disponibles actualmente, muchas de ellas contempladas en las exigencias normativas de cálculo, selección e instalación de tuberías, configuran un vasto campo de información ingenieril, que constituye de por sí una especialización profesional, de gran importancia en el futuro mediano, si se tienen en cuenta las inversiones que nuestro país está obligado a realizar en los próximos decenios en el área del recurso hídrico.

Tan vasta es la información técnica de referencia, que su aplicación exitosa es solo posible en nuestros días, gracias al prodigioso avance de las modernas computadoras y sobre todo de la disponibilidad de las mismas y de los programas de cálculo adecuados por parte de los proyectistas.

El desarrollo del proyecto nos permitirá analizar comparativamente, los aspectos técnicos y económicos, entre los sistemas de tuberías de PVC, PRFV y FFD; que se encuentran en el mercado nacional

1.2 Identificación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

El criterio tradicional de elección de tuberías encuentra su fundamento en la sollicitación debida a la presión interna como consecuencia del escurrimiento permanente en una conducción a presión.

El concepto de “clase” de una tubería, se utilizó durante muchos años para la selección de tuberías e incluso muchos organismos y proyectistas lo siguen usando actualmente

a pesar de lo insuficiente a la vez que oneroso que significa su adopción como único parámetro de selección.

Para destacar claramente el error que se comete por omisión es oportuno enunciar el preconcepto al que la “clase” como único parámetro de selección ha llevado históricamente “.... *Las tuberías de idéntica clase e igual diámetro nominal, de distintos materiales prestan idéntico servicio*”

La consecuencia inmediata es que éste criterio lleva necesariamente a llamados a licitaciones públicas o compulsas privadas, abiertas a todos los materiales, puesto que todos “prestán el mismo servicio” (lo que es estrictamente cierto pero sólo para la solicitud presión interna en régimen permanente y para algunos materiales).

Obviamente el objetivo buscado de “alentar la competencia y mejorar los precios” es noble en sí mismo y lleva a *obras probablemente más baratas pero difícilmente más económicas*. En efecto, al no ser consideradas las restantes solicitudes actuantes y demás conceptos necesariamente a ser tenidos en cuenta, la comparación se ha hecho sobre bases incompletas y sólo casualmente la solución adoptada puede resultar la más ventajosa desde el doble punto de vista técnico y económico.

La aplicación será en un tramo de la aducción de agua rincón de la Victoria (toma directa- cámara desarenadora), actualmente construido de canal de mampostería de piedra y mortero tapado con piedras y lajas del lugar

Por haber cumplido su vida útil y debido a que presenta considerables pérdidas de agua por las fisuras existentes y por las tomas clandestinas, en el presente trabajo se propone reemplazar el canal por tuberías y realizar un análisis de los aspectos técnicos y económicos utilizando tuberías (PVC, PRFV y FFD).

1.2.2 Formulación del problema

¿De qué manera se puede obtener un proyecto económicamente factible tomando en cuenta el análisis de los aspectos técnicos y económicos de las tuberías (PVC, PRFV y FFD) en la aducción del sistema de agua potable de la ciudad de Tarija, tramo Rincón de la Victoria – cámara desarenadora?

1.2.3 Sistematización del problema

¿Cómo conocer los aspectos técnicos y económicos de las tuberías para determinar porcentualmente el grado de ahorro y los valores de los parámetros técnicos?

¿Cuáles son las ventajas y desventajas de las tuberías PVC, FF y PRFV?

¿Cuál será el costo estimado de la inversión para la construcción de la aducción?

¿Cómo brindar recomendaciones técnicas de estos tipos de materiales para elegir la alternativa más viable desde el punto de vista técnico-económico?

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Realizar un análisis técnico-económico de las tuberías (PVC, FFD y PRFV) aplicado en un tramo de la aducción del sistema de agua potable de la ciudad de Tarija, (toma directa– cámara desarenadora).

1.3.2 Objetivos específicos

- Sistematizar la información técnica de las tuberías (PVC, FFD y PRFV).
- Conocer el procedimiento constructivo para la instalación de las tuberías en estudio.
- Describir y analizar la viabilidad del empleo de las tuberías en estudio para el sistema de aducción y las distintas situaciones donde se requiera el emplazamiento de las mismas.
- Analizar y revisar el concepto de “clase de una tubería”
- Exponer económicamente los tres tipos de tuberías y proponer la mejor alternativa bajo criterios técnicos.
- Realizar una aplicación práctica: diseño de la línea de aducción del sistema de agua potable de la ciudad de Tarija tramo Rincón de la Victoria – cámara desarenadora.
- Analizar diferentes alternativas que puedan ayudar a minimizar costos en la aplicación práctica.

- Brindar recomendaciones técnicas de estos tipos de las tuberías en estudio desde el punto de vista técnico-económico.

1.4 Justificación

1.4.1 Académica

El fundamento del presente trabajo, se sintetiza en la comparación de los aspectos técnicos y económicos entre las tuberías en estudio; que desde hace algunos años se han introducido en el mercado nacional, y que no se ha realizado un análisis detallado para determinar sus bondades y/o cualidades que nos ofrecen. Es por ello que con los conocimientos adquiridos en el área de la ingeniería sanitaria e hidráulica, nos permitirá analizar las ventajas y desventajas entre uno u otro sistema, de esta manera ampliar nuestra visión para la elaboración de proyectos económicamente factibles.

1.4.2 Técnica

Las infraestructuras hidráulicas de muchas regiones del país están envejeciendo haciendo necesaria la reparación o sustitución de miles de kilómetros de canales por tuberías en especial para agua potable; en otras partes no es el envejecimiento sino la falta de infraestructura; todos estos problemas se pueden sobrellevar mediante una cuidadosa selección de materiales que sean adecuados y que puedan satisfacer todas estas demandas que conlleven a diseños óptimos.

En nuestro estudio se pretende mostrar distintas alternativas para el diseño, es decir analizar todas las posibilidades de cambio del actual canal por un sistema de tuberías basándose en recomendaciones de las normas bolivianas correspondientes.

1.4.3 Social

La aplicación práctica del diseño del sistema de aducción para la distribución de agua potable en la ciudad de Tarija tiene como finalidad contribuir a mejorar la calidad de vida de la población aportando con la mejor alternativa de reposición del canal actual por un sistema de tuberías.

1.5 Alcance del estudio

El presente trabajo estará orientado a realizar una comparación técnica y económica de las tuberías P.V.C., P.R.F.V y FFD considerando diámetros mayores o iguales a 300 mm ya que estos materiales se adecuan para el transporte de grandes caudales; para poder lograr hacer esta comparación de manera adecuada se abarcará lo siguiente:

- Recopilar la información técnica necesaria de cada uno de los materiales que se expone por proveedores y empresas que los fabrican.
- Revisar la normativa existente para tuberías en nuestro país y también las normas internacionales.
- Analizar los procedimientos constructivos vigentes en nuestro país relacionado con las instalaciones de tuberías de agua potable.
- La aplicación práctica será en un tramo de la aducción rincón de la Victoria (toma directa- cámara desarenadora), con una longitud total de 12258.73 m, con un desnivel de 123.58 m.
- No se realizara un levantamiento topográfico, puesto que la topografía del tramo seleccionado será proporcionada por la oficina técnica de COSAALT.
- No se realizará un análisis hidrológico, se adoptara un valor de caudal obtenido del Resumen ejecutivo plan de seguridad de agua (PSA) Tarija 2007.
- Para los tres tipos de materiales se propone tres alternativas de diseño diferentes.
- Realizar el cálculo hidráulico para cada alternativa de diseño usando la herramienta de Microsoft Excel con fórmulas propuestas en norma y algunos criterios personales.
- Realizar un análisis de costos directos de las alternativas planteadas.
- La elección de la alternativa más viable será analizando el factor económico y técnico que presenten cada una de ellas.

CAPÍTULO II. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco teórico

2.1.1 Ecuación de Bernoulli

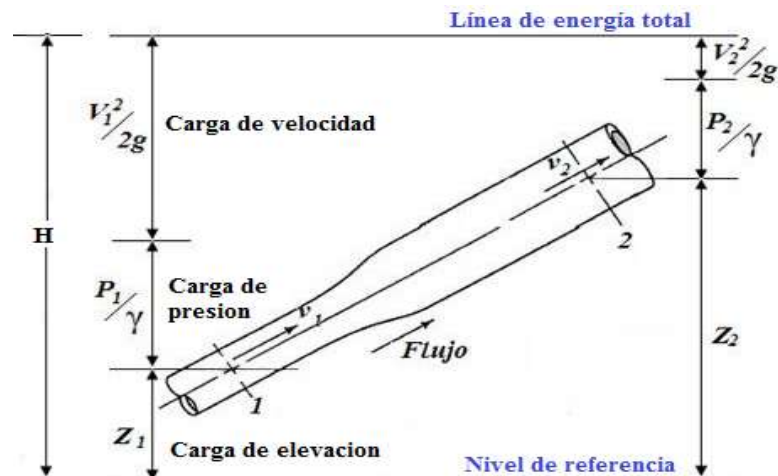
Se recuerda la expresión de Bernoulli, que está dada por:

$$H = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} + \Delta J_{1-2}^* = Z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{U_i^2}{2g} + \Delta J_{i-j}^* = \text{cte}$$

La anterior implica que la energía total H , con respecto a un plano de comparación arbitrario, se mantiene constante entre las secciones de una conducción caracterizadas por los subíndices 1,2,...,i, aunque la suma de los términos que la componen resultan variables de sección a sección.

Se recuerda también que, la ecuación anterior, sirve para definir las líneas de “energía” y “piezométrica”, a la vez que para interpretar el “Principio de la conservación de la energía”, para el caso del escurrimiento de líquidos a presión, y el agua en particular, con una destacable sencillez, por el hecho que el agua puede ser considerada “incompresible” a los efectos de la práctica, en los escurrimientos permanentes (independientes del tiempo).

Figura 2.1: INTERPRETACIÓN DE LA ECUACIÓN DE BERNOULLI



Fuente: (Perez, 1999)

En la Figura 2.1 se evalúa, a la vez que se interpreta físicamente, la expresión para un caso hipotético de una conducción de D variable (disminuyendo en el sentido del eje) e inclinada para mayor generalidad, con lo que los Z_i resultan también variables.

A la línea que se obtiene de deducir de la energía total el término ΔJ^* , se la denomina “Línea hidrodinámica” y brinda en cada sección la energía hidráulica remanente del fluido que escurre, en relación con el plano arbitrario de referencia elegido. Si además se descuenta el valor $U^2/2g$ obtenemos la “línea piezométrica”, la que brinda la energía potencial del líquido en cada sección, siempre con respecto al plano arbitrario de comparación.

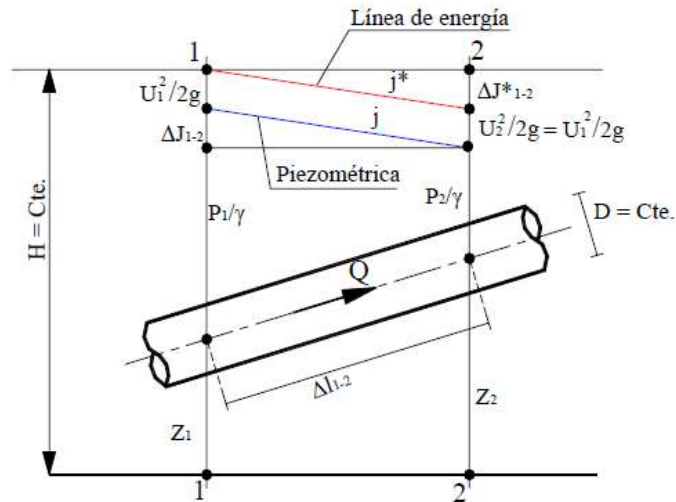
La variación de ΔJ^* tiene lugar con el cuadrado de la velocidad media según prueba la teoría y la experiencia.

La igualdad de los segmentos que constituyen la energía total, en una u otra sección, implican la interpretación del principio de la conservación de la energía en una forma gráfica y evidente, y la diferente magnitud de los segmentos representativos de las distintas componentes de la misma, permiten las comparaciones y cálculos de gran utilidad para el cálculo hidráulico de las conducciones en régimen permanente.

En ese caso, cuando el régimen es permanente y además el diámetro se mantiene constante en el recorrido, *el escurrimiento se denomina uniforme*, y es éste precisamente, el caso que posibilita el cálculo hidráulico de las conducciones, sean éstas “a presión” o a “superficie libre” (canales). Obviamente hasta el presente nos ocupamos de la problemática de las del primer tipo.

En la Figura 2.2 se esquematiza el escurrimiento uniforme para una conducción inclinada para obtener así mayor generalidad para recordar los conceptos rectores y la interpretación de la ecuación de Bernoulli vital para el desarrollo que sigue.

Figura 2.2: ESCURRIMIENTO UNIFORME EN CONDUCCIONES A PRESIÓN



Fuente: (Perez, 1999)

Se destaca que al no variar el diámetro la velocidad media permanece constante, en consecuencia, $j^* = j$ habrán de variar linealmente. Además, la piezométrica se dispondrá paralela y a una distancia $U^2/2g = \text{cte.}$ de la línea de energía. A “ j ” se la denomina “pérdida de carga unitaria”, la cual multiplicada por la longitud del tramo Δl_{i-j} , dará la “pérdida de carga” en el tramo ij . En el régimen uniforme ($D = \text{Cte.}$) se cumple siempre que $j = j^*$.

Todo este repaso conceptual previo es conducente para definir a las presiones a lo largo de la conducción, cuantificadas por los segmentos formados por la “línea piezométrica” y el eje de la misma (es decir los términos P_i/γ), como las “presiones dinámicas”, por ser las que corresponden al escurrimiento de un caudal determinado.

2.1.2 Ecuación fundamental de la hidrostática

La hidrostática es el capítulo de la hidráulica que estudia los líquidos en reposo. Sus aplicaciones en la ingeniería en general, y en la ingeniería civil en particular, son diversas abarcando el amplio campo que va desde la determinación de fuerzas o solicitaciones que permiten diseñar las estructuras que los contienen, pasando por la medición en fluidos, hasta llegar a la problemática de los cuerpos sumergidos y en particular el equilibrio de los cuerpos flotantes.

Si de la expresión de Bernoulli se eliminan los términos función de la velocidad, es decir los que implican movimiento se obtiene la ecuación fundamental de la hidrostática:

$$z_1 = \frac{P}{\gamma} = cte$$

En la que:

z_1 : es la altura de la partícula considerada con respecto al plano de comparación.

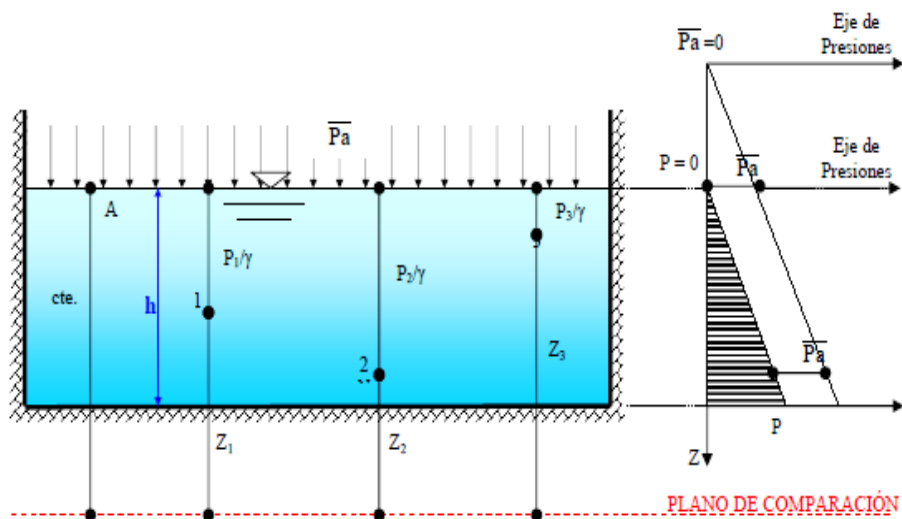
p : es la presión en el plano horizontal de la partícula en estudio.

γ : es el peso específico del líquido.

cte.: es un número que es siempre el mismo para todas las partículas y que representa la altura total en metros, sumando la de posición con la de presión.

La forma más conocida de la ecuación fundamental surge del siguiente análisis, el que se reproduce brevemente a los efectos de: repasar los conceptos básicos y a la vez extrapolarlos a la aplicación en conducciones, con el propósito de mostrar que es la misma expresión la que resuelve todos los problemas de la Hidrostática, a pesar de que no parecen similares a simple vista.

Figura 2.3: ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LA HIDROSTÁTICA



Fuente: (Hidráulica, 2012)

En la Figura 2.3 se aprecia un líquido en reposo, confinado en una estructura que le sirve de recipiente.

Sobre la superficie libre actúa siempre la presión atmosférica, por lo que podemos definir a las presiones como relativas cuando la misma no es considerada, o absoluta cuando si se la tiene en cuenta y se la suma a la primera.

En términos generales, casi siempre se usa la presión relativa puesto que la presión atmosférica está siempre presente, es decir aparece en ambos miembros de las igualdades cuando la expresión fundamental se establece entre dos puntos o partículas. En los casos especiales (como cuando por ejemplo se procede a estudiar la tubería de aspiración de las bombas) se indicará que las presiones a considerar son las absolutas. Cuando no se hace referencia a la misma, se entiende que las presiones a considerar son relativas.

Las presiones absolutas se identifican con un subrayado en el símbolo correspondiente, por lo tanto se tiene que:

$$\bar{P} = P + \bar{P}_a \quad \therefore \quad P = \bar{P} - \bar{P}_a$$

Haciendo el planteo en presiones relativas (lo que es lo más habitual en nuestras aplicaciones prácticas), se tiene que al plantear la ecuación entre los puntos 1 y 2 se obtiene:

$$z_1 = \frac{P_1}{\gamma} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} = cte \quad \therefore \quad z_1 - z_2 = \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$$

Es decir que:

$$z_1 - z_2 = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \quad \therefore \quad p_2 - p_1 = \gamma(z_1 - z_2) = -\gamma(z_2 - z_1)$$

Por lo que:

$$\Delta p = -\gamma \Delta z$$

Si aplicamos las anteriores al punto A se tiene que:

$$p = \gamma h ; \text{ o en presiones absolutas; } \bar{p} = \gamma h + \bar{p}_a$$

Nótese que las anteriores son ecuaciones de una recta con ángulo de 45° , en el gráfico se representan a las profundidades h con un eje vertical positivo en el sentido de las mismas y a las presiones con un eje horizontal. Si consideramos el valor “cero absoluto”, el eje origen se encuentra a una altura por sobre la superficie libre equivalente a la presión atmosférica, en cambio si consideramos el “cero relativo” el eje horizontal coincide con la superficie libre.

Para un determinado nivel z (o profundidad h), la presión no varía, por lo tanto el plano horizontal que implica se denomina “isobárico”.

2.1.3 Presión estática y dinámica

Pasando de la forma más tradicional, a las aplicaciones en las conducciones, nos referimos a la Figura 2.4, en la que se esquematiza el tanque de distribución de agua de una población relativamente pequeña, con la correspondiente tubería a presión de aducción que alimenta a la red de distribución. El tendido de la conducción, prácticamente reproduce la topografía del terreno, manteniendo constante una “tapada H ”.

La interpretación de la ecuación fundamental de la Hidrostática es evidente, al interpretarse gráficamente la igualdad de los segmentos que representa en cada punto analizado. En efecto,

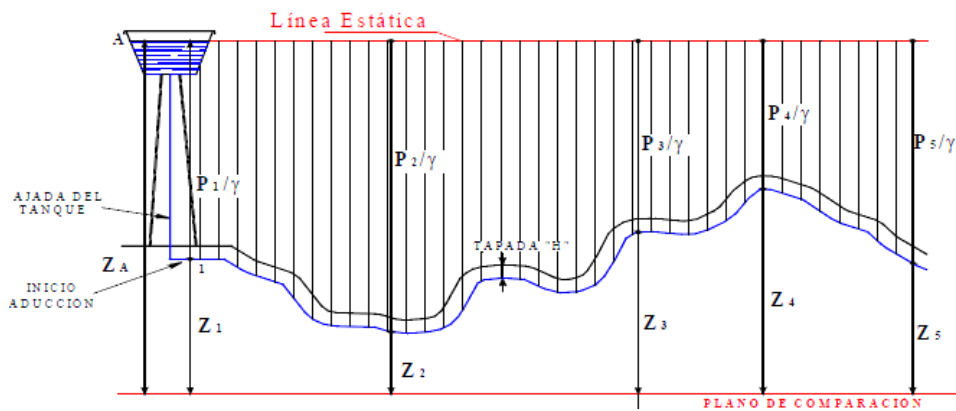
$$z_A = z_1 + \frac{P_1}{\gamma} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} = z_3 + \frac{P_3}{\gamma} = z_4 + \frac{P_4}{\gamma} = z_5 + \frac{P_5}{\gamma} = cte$$

Nótese que si bien las sumas de los z_i y los P_i/γ dan valores constantes, en cada punto pueden resultar individualmente muy distintos. Evidentemente la presión a que estará sometida la tubería, denominada “presión estática” por ser la correspondiente al líquido en reposo, será distinta en el recorrido. Se intuye que el espesor de la misma resultará variable con el mismo al pretender un diseño económico de la instalación.

Resulta muy evidente que en condiciones dinámicas, las energías de velocidad o “cinética” y las pérdidas por frotamiento, surgirán e expensas de las energías totales disponibles. Como los términos i y z son inamovibles, en consecuencia, los referidos valores se descontarán inexorablemente de los términos de presión p_i/γ . Por lo tanto la condición estática es más exigente para la sollicitación de la tubería que la presión dinámica.

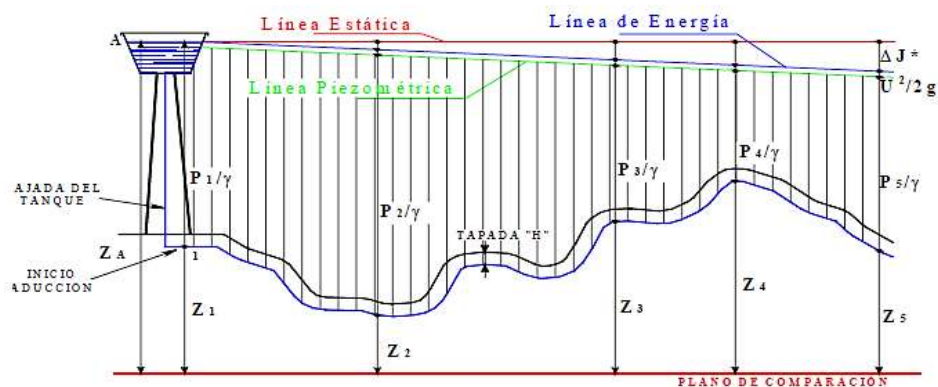
Es de destacar que cada vez que se obtura el caudal se alcanza el nivel estático, por lo que ésta es la condición de diseño para conducciones a gravedad, es decir sin bombes.

Figura 2.4: CONDICIÓN ESTÁTICA



Fuente: (Perez, 1999)

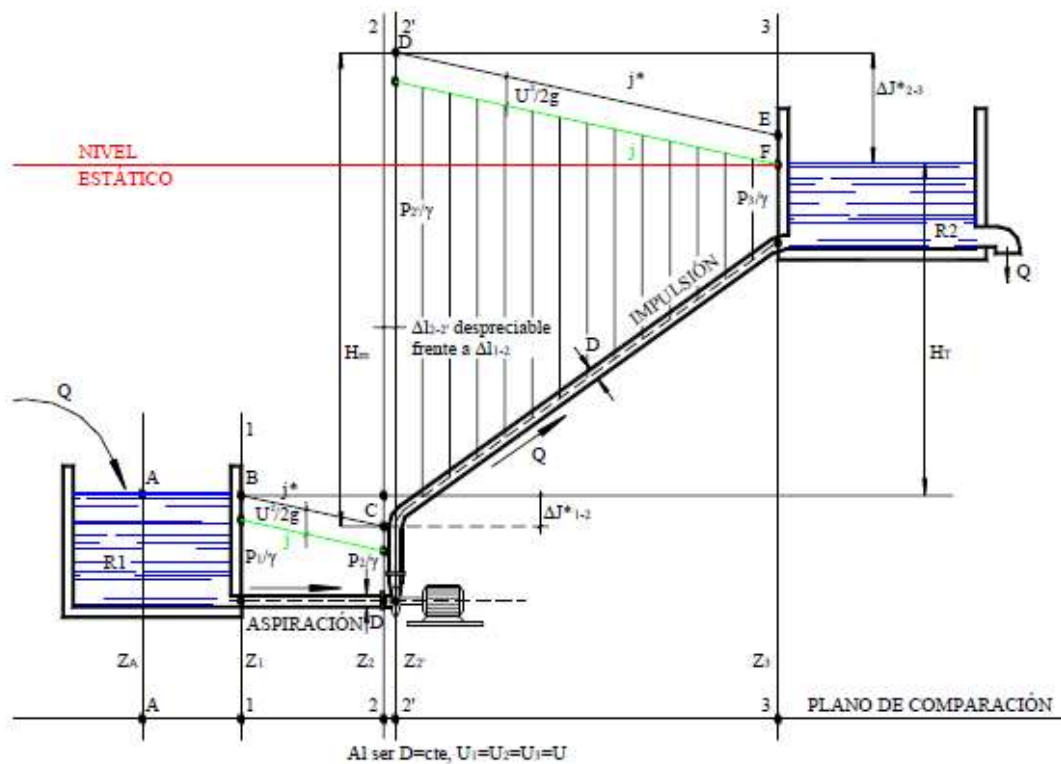
Figura 2.5: CONDICIÓN DINÁMICA



Fuente: (Perez, 1999)

En la Figura 2.5 se pueden apreciar visualmente los conceptos analizados. En la misma se representan las líneas de energía y piezométricas para el caso de una demanda de caudal Q , la que obviamente es variable durante las horas del día y con mayor pendiente a medida que crece Q (la energía cinética y las pérdidas crecen con el cuadrado de Q a expensas de las presiones). En el caso de las impulsiones las condiciones varían.

Figura 2.6: PRESIONES EN IMPULSIONES



Fuente: (Hidráulica, 2012)

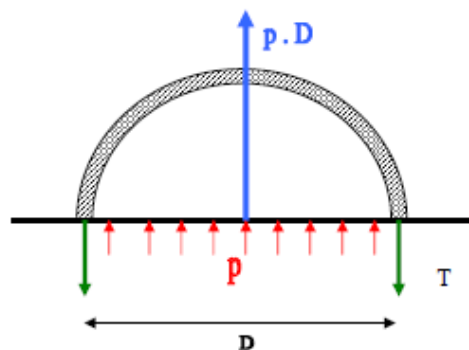
En efecto, en el esquema de la Figura 2.6 se puede apreciar claramente como la presión dinámica, es decir cuando escurre un caudal Q impulsado por la bomba, muestra una línea de energía superior al nivel estático impuesto por la cisterna de llegada cuando cesa el bombeo. Es a todas luces evidente que en el caso de las impulsiones, *la condición dinámica es la que impone el dimensionado de los espesores de las tuberías.*

2.1.4 Solicitación debida a la presión interna en una tubería

La sollicitación debida a la presión interna en una conducción a presión, lleva a la expresión de Mariotte² (o de las calderas) válida para materiales de las tuberías homogéneos. La misma relaciona, en una forma simple, el espesor con la tensión de tracción en las paredes de la tubería, lo que es fácilmente deducible del esquema de la Figura 2.7.

En la misma se aprecia una tubería a presión, seccionada por un plano horizontal que contiene al eje, lo que permite el tratamiento como “cuerpo libre” poniendo en evidencia a las sollicitaciones actuantes.

Figura 2.7: SOLICITACIONES DEBIDAS A LA PRESIÓN INTERNA



Fuente: (Perez, 1999)

El análisis a realizar se fundamenta en la simplificación de que, la distribución de tensiones que tendrá lugar en los espesores de la tubería, como respuesta a la sollicitación debida a la presión interna, *será uniforme*. Éste concepto implica considerar tuberías de pared fina, es decir de relativamente poco espesor frente al diámetro.

En la Figura 2.7 se aprecia que la resultante de la presión distribuida en el diámetro deberá ser equilibrada por sendos esfuerzos de tracción, distribuidos *uniformemente* a su vez en el espesor de la tubería y configurando las dos fuerzas equilibrantes “T”.

En efecto, considerando una longitud unitaria de conducción ($L = 1$ m) se tiene que:

² La ley de Boyle-Mariotte, nos dice: a temperatura constante, el volumen de una masa fija de gas es inversamente proporcional a la presión que este ejerce.

$$p D = 2T = 2 \sigma e$$

De donde:

$$e = \frac{p D}{2 \sigma}$$

En la que:

e : es el espesor de la tubería de material homogéneo.

p : es la presión actuante en el plano horizontal que contiene al eje.

σ : es la tensión de trabajo del material.

Los fabricantes de tuberías de materiales homogéneos adoptan valores de rotura para la presión interna y para la tensión de tracción, lo que posibilita la determinación del espesor, considerando previamente los correspondientes “coeficientes de seguridad”. Como a cada espesor le corresponde una sollicitación admisible, ofrecen al mercado una serie estandarizada de tuberías aptas para resistir, en condiciones de régimen permanente, una determinada serie de presiones fijadas de antemano, estas presiones definen las denominadas “clases” de las tuberías.

La expresión anterior representa la forma más simple de cuantificar los conceptos que posibilitan el cálculo de los espesores, pero no es la única ni exclusiva. En efecto, los fabricantes adoptan expresiones, que si bien son similares en lo conceptual, se adaptan más convenientemente a las propiedades geométricas y mecánicas de sus materiales y de su tecnología, aplicando, muchos de ellos, sumandos o coeficientes correctivos.

2.1.5 Sobrepressiones por golpe de ariete

Las sobrepressiones originadas en los movimientos transitorios, positivas o negativas, obligan a la verificación del espesor o de la clase de una tubería, pero debe aclararse que éste concepto corresponde a la sollicitación por presión interna en régimen permanente (o en condiciones estáticas como caso particular). El tratamiento de verificación a los movimientos transitorios debe tratarse en base a los conceptos que se desarrollan a continuación.

Cuando se construye una conducción a presión, la comprobación de la bondad de la obra realizada se concreta a través de las denominadas *pruebas hidráulicas*: Las mismas consisten en probar un tramo de longitud preestablecida, con la tubería enterrada, excepto en las uniones (donde son más probables las pérdidas) y a presiones también prefijadas en función de la clase, durante un tiempo también predeterminado.

Según el Reglamento técnico de diseño de aducciones para sistemas de agua potable en nuestro medio, se ha difundido la adopción de presiones de prueba hidráulica de 1,5 veces la clase de la tubería del tramo en prueba.

Las preguntas que surgen lógicamente serían... *¿Por qué probar a una presión tan superior a la de trabajo?... ¿No constituye una exigencia exagerada?*

Las respuestas a éstos interrogantes surgirán naturalmente del desarrollo que sigue.

En realidad, la presión de prueba da lugar a una revancha de la tubería, para absorber las sobrepresiones debidas al Golpe de ariete, hasta en un 50 % de la clase, según la tradición impuesta por OSN. Para probar lo aseverado nos referiremos a los siguientes conceptos relacionados con los movimientos transitorios en las conducciones a presión.

Se recuerda que los tiempos de cierre de las válvulas o de detenimiento de las bombas influyen en la magnitud máxima de las sobrepresiones por “golpe de ariete”.

En efecto, si el tiempo T_M de la maniobra de cierre, es menor que el denominado tiempo crítico

$$T_c = \frac{2L}{c}$$

(Que es el que tarda la onda en ir y volver al obturador), la máxima sobrepresión puede alcanzar el valor dado por la famosa expresión de Allievi:

$$\Delta h = \frac{cU}{g}$$

Donde:

c : es la celeridad de las ondas en la conducción (que dependerá del material de la misma entre otras cosas).

U : es la velocidad media del fluido durante el régimen permanente.

g : es la aceleración de la gravedad.

Es el caso de los cierres “bruscos” de válvulas, de los cuales el “cierre instantáneo” es un caso particular.

En el caso de "cierre lento" ($T_M > T_c$), el cálculo de la sobrepresión es algo más engorroso, a menos que se adopte la hipótesis de “maniobra lineal de cierre”, la que conduce a la famosa expresión de Michaud, que para una conducción de longitud “L” es:

$$\Delta h = \frac{2 L U}{g T_M}$$

El método semiempírico desarrollado por el profesor Angus en los años treinta, permite calcular la máxima sobrepresión (en metros de columna de agua) producido por el cierre de las válvulas usuales en ese entonces (esclusas). Dicha sobrepresión máxima habría de producirse en el instante:

$$t = t_0 + T = t_0 + \frac{2 L}{c}$$

y está dada por la expresión:

$$\sqrt{H} = \sqrt{\frac{m}{2} \left(1 - \frac{T}{t}\right)^2 + 1 + m - \frac{m}{2} \left(1 - \frac{T}{t}\right)}$$

En la que:

$$H = \frac{H_t}{H_0} \quad \text{y} \quad m = \frac{c U}{g H_0}$$

Siendo:

H_T : altura máxima, en metros de columna de agua, a la se que llega en el tiempo $t = t_0 + 2 L/c$ en la sección del obturador.

H_0 : altura de presión en régimen permanente en la misma sección.

Si se tiene en cuenta que los valores prácticos de m varían entre 0.5 y 7.5, lo que se obtiene asumiendo que $g \cong 10 \text{ m/s}^2$; $c \cong 1.000 \text{ m/s}$ y las velocidades pueden variar entre 0.6 y 3 m/s con una altura inicial que oscila entre 40 y 120 m, la expresión anterior es representable para distintos valores de m , tomando al cociente entre los tiempos de maniobra y el crítico como la variable independiente (abscisas) y a H (cociente entre alturas máxima y estática) como la variable dependiente (ordenadas).

En resumen, en la Figura 2.8 se han trazado una serie de curvas en el diagrama de ordenadas.

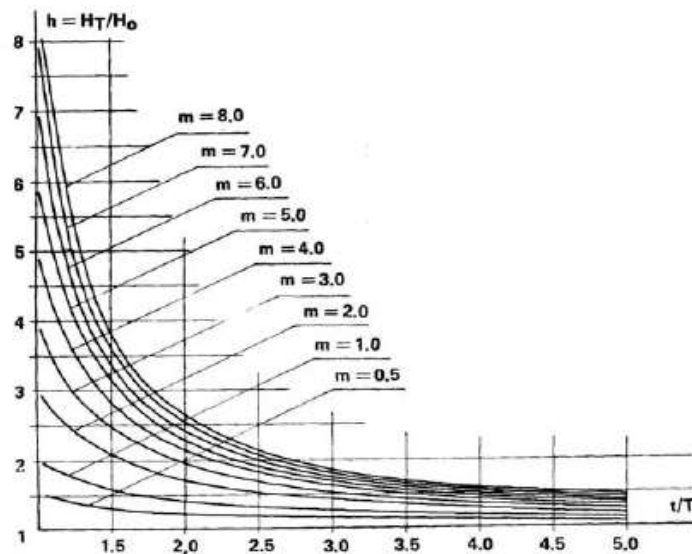
$H = H_T/H_0$ y abscisas t/T , caracterizada cada curva por un valor del parámetro m . El gráfico es válido cuando los tiempos de cierre son mayores que T_c , es decir para los casos de cierre lento.

La parte izquierda de las curvas, aproximadamente hasta el valor de t/T de 1,5 corresponde generalmente al caso de repentinas fallas de potencia en bombas. La parte derecha, especialmente a partir del valor $t/T = 5$ corresponde al caso de cierre con válvulas tradicionales (esclusas).

Nótese que la tendencia asintótica de la curva para las abscisas suficientemente alejadas, es justamente 1.5, lo que justifica plenamente que en el ámbito de las obras sanitarias (y no solo de nuestro país) se haya adoptado el valor de referencia, el que ha sido tenido en cuenta por decenas de años en los pliegos licitatorios (aún hoy es común que aparezca la especificación de referencia en obras sumamente importantes e incluso en altas presiones).

En general las normas de aplicación para los distintos materiales del mercado, actualmente, disminuyen las exigencias al aumentar las presiones de trabajo, a cambio, tácitamente de un estudio más exacto de las instalaciones y dispositivos antiarriete que aseguren que las revanchas adoptadas no sean sobrepasadas por los movimientos transitorios.

Figura 2.8: SOBREPRESIONES MÁXIMAS Y TIEMPOS DE CIERRE



Fuente: (Perez, 1999)

En resumen y generalizando se puede escribir que la presión de prueba hidráulica en zanja, la que podemos definir también como PMA (Presión Máxima Admisible en movimientos transitorios sin dispositivos antiarriete) es:

$$\text{PMA} = \xi C$$

En la que ξ es un coeficiente que depende del material, los criterios normativos vigentes para el material de que se trate y, eventualmente, la exigencia del proyectista o del comitente. Obviamente C representa la “clase” de la tubería en análisis.

2.1.6 Criterios de diseño de la línea de aducción

Según el reglamento técnico de diseño de aducciones para sistemas de agua potable (*NB 689, 2004), para el diseño deben considerarse los siguientes elementos:

a) Trazado de la aducción

El trazado de la aducción debe realizarse previo reconocimiento en campo del relieve topográfico, reconocimiento geológico y tipo de suelo, en lo posible paralelo a vías públicas y caminos de uso general de la población. Si se deben atravesar predios privados se debe establecer la correspondiente servidumbre.

b) Caudal de diseño

El caudal de diseño de las obras de aducción depende del sistema de abastecimiento de agua: Si el sistema es por gravedad y cuenta con un tanque de almacenamiento y/o planta de tratamiento la obra de aducción debe calcularse con el caudal máximo diario.

c) **Determinación de cotas**

Se deben determinar las cotas del terreno de los siguientes puntos:

- Obra de toma.
- Pasos de los accidentes topográficos sobre la línea del trazado.
- Cambios bruscos de sentido y pendiente.
- Tanque de almacenamiento o planta de tratamiento.
- Otros puntos relevantes del terreno que determinen el trazado de la tubería.
- La diferencia de elevación entre el punto de ingreso de agua y cualquier punto tubería.

La diferencia de elevación entre el punto de ingreso de agua y cualquier punto tubería abajo, determinará la presión estática interna en la tubería.

La presión estática entre puntos extremos de la tubería de aducción, determinará el material y las características mecánicas de trabajo de la tubería y la necesidad de colocar válvulas o cámaras rompe presión.

La presión estática entre puntos extremos de la tubería de aducción, determinará el material y las características mecánicas de trabajo de la tubería y la necesidad de colocar válvulas o cámaras rompe presión.

d) **Material y clase de tubería**

La elección del material debe ser efectuada con base en:

- Las características topográficas.
- Calidad del agua.
- Tipo de suelo.
- Resistencia a la corrosión y agresividad del suelo.
- Resistencia a esfuerzos mecánicos producidos por cargas externas e internas.

- Características de comportamiento hidráulico (velocidades, presiones, golpe de ariete).
- Vida útil del proyecto.
- Costos de operación y mantenimiento.
- Análisis económico.

Los materiales deben ser elegidos en función de la presión nominal y de trabajo, la cual debe ser proporcionada por el fabricante. El material utilizado debe contar con una certificación de calidad, o en su caso, cuando las certificaciones provengan de otros países, ésta debe ser homologada por el IBNORCA.

e) **Velocidad**

La velocidad máxima debe ser considerada en función del tipo de material de la tubería, de acuerdo a la Tabla 2-1.

Tabla 2-1: VELOCIDADES MÁXIMAS PERMISIBLES EN TUBERÍAS

Material	Velocidad (m/s)
Tubería revestida de hormigón simple	3,00
Tubería de hormigón centrifugado	3,50
Tubería de asbesto cemento	5,00
Tubería de PVC	5,00
Tubería de hierro fundido	5,00
Tubería acero galvanizado	5,00
Tubería de acero	5,00

*Fuente: (*NB 689, 2004)*

A objeto de mitigar los efectos por golpe de ariete, y en general cuando éste sea inminente, se recomienda que la velocidad máxima no debe superar a 1,50 m/s.

La velocidad mínima en la tubería debe ser establecida en función de la velocidad de autolimpieza. La velocidad mínima recomendada es de 0,30 m/s.

f) **Diámetros mínimos**

Para la selección del diámetro de la tubería de aducción deben analizarse las presiones disponibles, las velocidades de escurrimiento y las longitudes de la línea de aducción.

La elección debe estar basada en un estudio comparativo técnico económico mediante las técnicas de optimización que tornen mínima la función costo anual.

g) Pendientes

Las pendientes mínimas deben ser:

$i = 0,04\%$, cuando el aire circula en el sentido de escurrimiento del agua

$i = 0,10\%$ a $0,15\%$, cuando el aire circula en el sentido contrario al escurrimiento del agua

h) Cálculo hidráulico y pérdidas de carga

En el cálculo hidráulico se utiliza el diámetro real. Sin embargo, para efectos del diseño se debe considerar el diámetro nominal de la tubería.

Para el cálculo hidráulico y la determinación de pérdidas de carga en tuberías a presión se pueden utilizar las siguientes fórmulas:

- **Flamant**

Se expresa por la ecuación:

$$S_t = \frac{4 * b * v^{\frac{7}{2}}}{D^{\frac{3}{2}}}$$

Donde:

S_t : Pérdida de carga unitaria en m/m

b : Coeficiente de Flamant (Ver Tabla 2-2)

v : Velocidad del agua en m/s

D : Diámetro interno de la tubería en m

Tabla 2-2: COEFICIENTE b DE FLAMANT

Material de la tubería	b
Hierro o acero	0,00023
Nuevos metálicos	0,000185
Concreto	0,000185
PVC	0,00140(1)

Fuente: Manual de Hidráulica, Azevedo Netto

- **Darcy Weisbach**

El cálculo de la pérdida de carga distribuida o continua en una tubería o conducto cilíndrico largo se debe efectuar mediante la siguiente fórmula:

$$h_f = \frac{f * L * v^2}{D_H * 2 * g}$$

Donde:

h_f : Pérdida de carga distribuida o continua en m

f: Coeficiente de pérdida de carga distribuida. Se obtiene de la siguiente fórmula:

Escurrimiento turbulento ($R > 5000$), fórmula de Colebrook-White

$$\frac{1}{f^{1/2}} = 2 * \log \left(\frac{k}{3.70 * D_H} + \frac{2.51}{R * f^{1/2}} \right)$$

f: Coeficiente de fricción (adimensional)

R: Número de Reynolds = $(v * D)/\nu$

ν : Viscosidad cinemática del agua en cm^2/s

v: Velocidad media en la sección en m/s

k: Rugosidad uniforme equivalente o coeficiente de Colebrook, depende del tipo de material (ver Tabla 2-3) $k = \epsilon/D$

ϵ : Rugosidad en mm

D: Diámetro interno de la tubería en m

D_H : Diámetro hidráulico en m

La Tabla 2-3, presenta la rugosidad uniforme equivalente, teniendo en cuenta su relación y dependencia con los siguientes factores: material y proceso de fabricación de la tubería, naturaleza del líquido que escurre por la tubería y tiempo de servicio de la tubería.

Tabla 2-3: VALORES EL COEFICIENTE K DE COLEBROOK

Material	k (mm)
Acero galvanizado	0,13
Acero soldado c/revestimiento	0,05
Asbesto cemento	0,10
Hierro fundido nuevo	1
Hierro fundido usado (15 a 20 años)	1 – 5
Hierro fundido dúctil c/revestimiento de cemento	0,50
Plástico PVC o Polietileno PEAD	0,01

*Fuente: (*NB 689, 2004)*

Las pérdidas de carga introducidas por las juntas tipo espiga campana y uniones con anillo de goma o similares deben ser consideradas como despreciables ya que no presentan salientes al interior del tubo.

El coeficiente de viscosidad cinemática del agua debe ser considerado solamente en función de la temperatura de agua al interior de la tubería y para efecto del cálculo del número de Reynolds. Los valores del coeficiente de viscosidad en función de la temperatura se presentan en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4: VISCOSIDAD CINEMÁTICA DEL AGUA

Temperatura (°C)	Peso específico (N/m ³)	Viscosidad cinemática x10 ⁶ (m ² /s)
0	9.806	1.792
5	9.807	1.519
10	9.808	1.308
15	9.798	1.141
20	9.789	1.007
25	9.778	0.897
30	9.764	0.804
35	9.764	0.727
40	9.730	0.661
45	9.711	0.605
50	9.690	0.556
55	9.666	0.513
60	9.642	0.477
65	9.616	0.444
70	9.589	0.415
75	9.560	0.39
80	9.530	0.367
85	9.499	0.347
90	9.466	0.328
95	9.433	0.311
100	9.399	0.296

Fuente: (*NB 689, 2004)

- **Hazen Williams**

Es la más empleada por su simplicidad y grado de exactitud, se expresa como:

$$Q = 0.28 * C * D^{2.63} * J^{0.54}$$

Donde:

Q: Caudal en m³/s

C: Coeficiente de Hazen Williams (adimensional)

D: Diámetro interno de la tubería en m

J: Pérdida de carga unitaria o gradiente hidráulico en m/m $J = hf / L$

Hf: Pérdida de carga en m

L: Longitud de la tubería en m

El coeficiente C es función del material y la antigüedad de la tubería. En la Tabla 2-5 se presentan los valores mas empleados

Tabla 2-5: VALORES DEL COEFICIENTE C DE HAZEN-WILLIAMS

Material	C
Acero galvanizado	125
Acero soldado c/revestimiento	130
Asbesto cemento	120
Hierro fundido nuevo	100
Hierro fundido usado (15 a 20 años)	60 – 100
Hierro fundido dúctil c/revestimiento de cemento	120
Plástico PVC o Polietileno PE	140

Fuente: Manual de Hidráulica, Azevedo Netto.

i) Pérdida de carga localizada

La pérdida de carga localizada producida por accesorio y válvulas instaladas en la tubería a presión debe ser considerada a través de la longitud equivalente, que es, la pérdida de carga producida por una longitud equivalente de tubería rectilínea.

Las pérdidas de carga localizadas de cada accesorio o válvula tiene su longitud equivalente respectiva que depende del material, forma y diámetro.

El proyectista puede dejar de considerar el cálculo de pérdidas localizadas si los sistemas son por gravedad.

j) Presiones máximas y mínimas

La presión estática máxima de la tubería de aducción no debe ser mayor al 80% de la presión de trabajo especificada por el fabricante, debiendo ser compatibles con las presiones de servicio de los accesorios y válvulas a utilizarse.

Para casos en los que se tiene altas presiones se debe efectuar un análisis comparativo técnico económico entre adoptar el uso de tuberías de alta presión o utilizar estaciones reductoras de presión y tuberías de menor presión.

La presión mínima recomendable en cualquier punto de la tubería de aducción, en las condiciones mas desfavorables de escurrimiento, debe ser de 2 m.c.a., excepto en los puntos inicial y final de la aducción ligados a un tanque o cámara en contacto con la atmósfera.

k) Tuberías de aducción y accesorios

El tipo de tuberías, de juntas, de materiales y de apoyos debe ser comprobadamente adecuado a la forma de instalación, garantizando la estanqueidad del conducto y su estabilidad y debe ser protegida contra impactos.

Los accesorios (uniones, codos, té, reducciones, válvulas, anclajes, etc.), elementos importantes complementarios a la instalación de tuberías, deben ser compatibles entre sí, en lo que se refiere a presiones de trabajo, dimensiones (diámetros, espesores, sistemas de unión) y estabilidad electroquímica si se trata de materiales diferentes.

2.2 Marco conceptual

Aducción. Es la conducción o transporte de agua desde la obra de toma hasta la planta de tratamiento, tanque de regulación, o directamente a la red, ya sea por tubería, canal o túnel.

Aducción por conductos cerrados a presión. Es aquella en la que el agua se conduce a presiones superiores a la presión atmosférica, son generalmente tuberías de agua a sección llena.

Caudal. Es el producto de la sección del tubo de corriente por la velocidad del fluido en la misma ($Q = S \times V$). Se mide en metros cúbicos por minutos u horas o en litros por segundo, minuto u hora.

Cámaras rompe presión. Estructura que permite disipar la energía y reducir la presión relativa a cero (presión atmosférica), con la finalidad de evitar daños a la tubería.

Carga disponible. La carga disponible viene representada por la diferencia de elevación entre la obra de captación y el reservorio.

Clase de una tubería. Es la presión máxima en régimen permanente de servicio (impulsiones), o en condiciones estáticas (instalaciones a gravedad) que el fabricante de la misma garantiza que puede soportar.

Línea de conducción. Se entiende por línea de conducción al tramo de tubería que transporta agua desde la captación hasta la planta potabilizadora, o bien hasta el tanque de regulación dependiendo de la configuración del sistema de agua potable.

Línea gradiente hidráulica. Es la línea que indica la presión en columna de agua a lo largo de la tubería bajo condiciones de operación.

Nivel dinámico. Distancia medida desde la superficie del terreno hasta el nivel de agua en el pozo producido por el bombeo.

Nivel estático. Distancia desde la superficie del terreno hasta el nivel de agua en el pozo, no afectado por el bombeo.

Pérdida de carga unitaria (hf). Es la pérdida de energía en la tubería por unidad de longitud debida a la resistencia del material del conducto al flujo del agua. Se expresa en m/km o m/m.

Pérdida por tramo (Hf). Viene a representar el producto de pérdida de carga unitaria por la longitud del tramo de tubería.

Presión. Se define presión como la cantidad de fuerza que se ejerce sobre una unidad de área de alguna sustancia. Esto se enuncia por medio de la ecuación $p=F/A$

Presión dinámica. Diferencia entre la presión estática y las pérdidas de carga producidas en el tramo respectivo, en el momento de flujo máximo.

Presión estática. Presión en un punto de la aducción o red considerando la ausencia de flujo en la misma o consumo nulo en la red.

Presión de trabajo. Es la máxima presión – estática para instalaciones “a gravedad” o dinámica para “impulsiones”- que habrá de soportar la tubería en condiciones normales de trabajo sin tener en cuenta los movimientos transitorios (golpe de Ariete).

Presión nominal. Presión interna máxima a la que puede estar sometida una tubería en las condiciones de apoyo y relleno establecidas en el proyecto.

Presión Máxima Admisible. Es la correspondiente a la “Presión de prueba en zanja” (1.5 de la clase), la que, al ser una presión alcanzada para probar la bondad de la obra,

garantiza que los transitorios hasta ese valor serán soportados por la tubería sin necesidad de dispositivos especiales anti-ariete.

Tubería. Las tuberías son tubos fabricados de acuerdo a los tamaños normalizados.

Tubo. Pieza hueca, generalmente cilíndrica y abierta por ambos extremos, que se utiliza en distintas aplicaciones

Tuberías Estandar. Constituyen las series que publican en sus catálogos los fabricantes, discriminadas en diámetro y clases.

Tuberías especiales. son las que se fabrican para solicitudes especiales y no están consideradas en los catálogos.

Válvula de aire. Válvula para eliminar el aire existente en las tuberías; se las ubica en los puntos altos de la línea.

2.3 Marco espacial

El área de aplicación del estudio se encuentra dentro del departamento de Tarija, en el municipio de Tarija de la provincia Cercado sector aducción existente en el Rincón de la Victoria.

El tramo seleccionado de dicha zona es en el rincón de la Victoria (toma directa-cámara desarenadora)

2.4 Marco normativo

Tabla 2-6: NORMAS PARA LA TUBERÍA PVC

	NACIONAL	INTERNACIONAL
PVC	NB 689	ASTM D 1784
	*NB 689	IRAM 113035
	NB 1069	AWWA C900
	NB 213	AWWA C905
		ITINTEC 399

Fuente: Elaboración propia

NB 689: Instalaciones de agua - diseño para sistemas de agua potable

***NB 689:** Reglamentos técnicos de diseño para sistemas de agua potable

NB 213: Tuberías plásticas – Tuberías de policloruro de vinilo (PVC-U) no plastificado para conducción de agua potable (Tercera revisión)

NB 1069: Tuberías plásticas de policloruro de vinilo no Plastificado (pvc-u) esquemas 40 y 80 -Especificaciones y dimensiones

ASTM D 1784: Especifica los requerimientos físicos de los componentes para los materiales de PVC y CPVC utilizados en la fabricación de las válvulas, tuberías y accesorios.

IRAM 113035: Aros de caucho. Aros para juntas de tuberías de suministro de agua potable, drenajes y desagües.

AWWA C900: “Tubería de Presión de Cloruro de Polivinilo (PVC), 4 a 12 pulgadas, para Agua”

AWWA C905: “Tubería y Accesorios Soldados de Presión de Cloruro de Polivinilo (PVC), 14 a 48 pulgadas, para Transmisión y Distribución de Agua”

ITINTEC 399.002: Tuberías de policloruro de vinilo no plastificado (PVC) para conducción de fluidos – Requisitos.

Tabla 2-7: NORMAS PARA LA TUBERÍA PRFV

	NACIONAL	INTERNACIONAL
PRFV	NB 1216016	ASTM D4161
	-	AWWA C950
	-	ISO 10639

Fuente: Elaboración propia

NB 1216016 (2009): Tuberías plásticas-Tubos de poliéster reforzado con fibra de vidrio, para conducción de agua cruda, agua potable y alcantarillado pluvial; con o sin presión.

ASTM D4161-14: (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS). Especificación estándar para juntas de tubería "Fibra de vidrio" (fibra de vidrio reforzada con resina termoendurecible) usando sellos flexibles de elastómero

AWWA C950: (*AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION*). Es una de las normas más completas que existen para tuberías de PRFV. Esta norma para aplicaciones de agua a presión especifica detalladamente los requerimientos para la tubería y las juntas de unión, concentrándose básicamente en el control de calidad y los ensayos de calificación de prototipos.

ISO 10639 :(*INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION*. Sistema de tuberías plástica para acueducto a presión y flujo libre basado en resina de poliéster Insaturado reforzado con fibra de vidrio.

Tabla 2-8: NORMAS PARA LA TUBERÍA FFD

	NACIONAL	INTERNACIONAL
FFD	NB 689	ISO 2531
	*NB 689	ISO 4633
	NB 645	UNE-EN 545
	NB 127001	-

Fuente: Elaboración propia

NB 645: Tuberías de fierro fundido dúctil, uniones y accesorios para líneas de tubería de presión.

NB 127001: Revestimiento interno con mortero de cemento centrifugado para tubería de fierro fundido dúctil con o sin presión - prescripciones generales.

ISO 2531: Tubos, racores y accesorios de fundicion ductil y sus empalmes para agua o gas.

ISO 4633: Sellos de goma - la Unión toca para el abastecimiento de agua, el drenaje y tuberías de alcantarillado - la especificación para materiales.

UNE-EN 545: Tubos, racores y accesorios de fundición dúctil y sus uniones para canalizaciones de agua. Requisitos y métodos de ensayo.

CAPÍTULO III. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS TUBERÍAS EN ESTUDIO.

3.1 Tuberías y accesorios

Son dispositivos que permiten el transporte de agua de un punto a otro, en su diseño se debe tomar en cuenta la cantidad, calidad y presión de agua a conducir con el máximo de economía y en el momento deseado.

3.1.1 Selección del material

Según el reglamento técnico de diseño de válvulas, tuberías y accesorios para sistema de agua potable (*NB 689, 2004), nos dice que en la selección del material de las tuberías y accesorios deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

- Resistencia contra la corrosión y agresividad del suelo.
- Resistencia a esfuerzos mecánicos producidos por las cargas tanto externas como internas.
- Características del comportamiento hidráulico del proyecto (presión de trabajo, golpe de ariete).
- Condiciones de instalación adecuadas al terreno.
- Condiciones económicas.
- Resistencia contra la corrosión e incrustación debido a la calidad del agua.
- Vida útil de acuerdo a la previsión del proyecto.

En la Tabla 3-1, se presentan las ventajas y desventajas de los distintos materiales empleados en los sistemas de abastecimiento de agua potable.

Tabla 3-1: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TUBERÍAS

Material	Diámetro comercial (mm)	Presión de trabajo por tipo de tubería (m.c.a.)	Ventajas	Desventajas
Fierro Dúctil (FD)	100 a 600 o mas a pedido	< de 300	Buena resistencia a carga exterior. Muy buena resistencia a la corrosión. Mas liviana que el FF.	Poca elasticidad (pero mayor que el FF). Frágil (menos que el FF). Costo elevado.
Asbesto -Cemento (AC)	24.5 a 600	< 150	Buena resistencia a la corrosión. Liviana y de fácil manipuleo. No sujeta a electrólisis. Mínima carga por fricción.	Se deteriora en suelos ácidos. Baja resistencia a la flexión. Frágil.
Acero (2)	Desde 50 a pedido	Dependerá del espesor y las condiciones de fabricación comercialmente se tiene de 160 a 600 mm	Alta resistencia a la tracción. Adaptable a zonas donde puede haber asentamiento.	Baja resistencia a la corrosión. Costo elevado. Esta sujeta a electrólisis . Corrosión extrema en suelos ácidos o alcalinos.
Policloruro vinil (PVC) (1)	12.5 a 250	SDR-32.5 = 87,4 (3) SDR-26 = 112,5 SDR-21 = 140,6 Clase 6 = 60 Clase 9 = 60 Clase 12 = 120 Clase 15 = 150 Esquema 40 = variable Esquema 80 = variable (diferentes presiones y espesores a pedido)	Excelente resistencia a la corrosión. Liviana y de fácil manipuleo.	Solo puede funcionar hasta temperatura de 50°C Baja resistencia a la flexión. Puede perforarse. No sujeta a electrólisis. Mínima carga por fricción. Bajo costo dependiendo del tipo de tubería.
Polietileno (PE) (1)	12.5 a 100	PE grado 33 = variable Densidad 0,93 a 0,94 = variable	Excelente resistencia a la corrosión. Liviana y de fácil manipuleo Bajo costo. Menor número de juntas. No sujeta a electrólisis. Mínima carga por fricción.	Solo puede funcionar hasta temperatura 50°C. Puede perforarse o rasgarse. No resiste alta presión. Se hace quebradizo con el sol.
Fierro Galvanizado (FG)	12.5 a 150	< de 400	Buena resistencia a carga exterior .	Poca elasticidad. Precio elevado.
Fierro Fundido (FF)	100 a 600 o mayores a pedido	< de 400	Buena resistencia a carga exterior. Admite presiones elevadas.	Peso elevado. Muy buena resistencia a la corrosión. Frágil. Poca elasticidad. Costo elevado.

Fuente: (*NB 689, 2004)

3.1.2 Tuberías en estudio

Como se puede observar en la Tabla 3-1 existe una gran variedad de tipos de tuberías que la norma Boliviana nos recomienda para el abastecimiento de agua potable, pero en esta ocasión el estudio se va centrar únicamente en 3 tipos tomando en cuenta que el caudal de aplicación en el ejemplo práctico es mayor a 300 l/s.

- Tuberías de policloruro de vinilo (PVC)
- Tuberías de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV)
- Tuberías de fierro fundido dúctil (FFD)

3.2 Tuberías policloruro de vinilo (PVC)

3.2.1 Breve historia

El descubrimiento del PVC se remonta a finales del siglo diecinueve al descubrirse que un nuevo compuesto orgánico llamado cloruro de vinilo reaccionaba fuertemente a la luz solar formando una acumulación de material sólido blanco en la parte baja de los tubos de prueba, esta reacción es la polimerización simple del PVC. El nuevo plástico fue olvidado debido a que en esa época no se le encontraron aplicaciones. Para los años veinte se retomaron las investigaciones acerca del PVC principalmente en Alemania, produciendo perfiles de PVC rígido. Para los años treinta los científicos e ingenieros alemanes desarrollaron y produjeron cantidades limitadas de tubo de PVC.

Se puede decir que la industria de la tubería del PVC es producto de la segunda guerra mundial, ya que los sistemas de agua y alcantarillado fueron destruidos en su mayoría por los bombardeos en Alemania, debido a esto los científicos e ingenieros alemanes desarrollaron la industria de la tubería de PVC.³

³ (Escuela de Ingenierías Industriales - UVa, 2016)

3.2.2 Fabricación

Las materias primas para la producción de PVC son, el petróleo y la sal común.

El refino del petróleo da lugar a una fracción, las naftas, que, por medio de un proceso denominado Cracking, producen, entre otras sustancias gaseosas, el etileno, una de las bases para la fabricación de PVC. Paralelamente el cloruro sódico se descompone por electrólisis, obteniéndose cloro y además hidróxido sódico e hidrógeno.

La reacción del etileno y cloro da lugar al monómero cloruro de vinilo (VCM), obteniéndose previamente el producto intermedio dicloretano (EDC).

Mediante la polimerización del monómero VCM en reactores, en unas condiciones adecuadas de presión y temperatura, se obtiene el polímero "Poli Cloruro de Vinilo" (PVC). En este proceso de polimerización las moléculas de monómero se agrupan en largas cadenas denominadas polímeros

Los accesorios se fabrican normalmente por el método de inyección. El compuesto de P.V.C. o materia prima, se inyecta a muy alta presión en moldes especiales de diversas formas y diámetros según se requiera.

3.2.3 Aplicaciones principales

- Conducciones de agua potable y no potable, con y sin presión.
- Evacuación de aguas pluviales.
- Evacuación de aguas residuales en interior de edificios.
- Redes de saneamiento con y sin presión.
- Drenaje de obra civil.
- Canalizaciones de riego

3.2.4 Información técnica

3.2.4.1 Diámetro exterior y espesor de la pared

Los diámetros exteriores y espesores de pared de las tuberías para cada valor de la presión nominal están especificados en la

Tabla 3-2: DIMENSIONES Y PRESIONES HIDROSTÁTICAS (PVC)

Clase		Tipo de unión										
		Campana con pegamento o junta elástica								Rosca		
		Clase 6 Bar	Clase 9 Bar	Clase 12 Bar	Clase 15 Bar	Clase Ro Bar						
Presión de trabajo < 50 años		6,0	9,0	12,0	15,0	10,0						
Presión de prueba = 1 h		21,1	31,4	42,0	52,1	32,0						
Presión de rotura ≥ 90 s		22,3	33,1	44,2	54,9	34,5						
Diámetro Nominal DN	Diámetro exterior		Espesor de pared de la tubería									
	mín. mm	máx. mm	mín. mm	máx. mm	mín. mm	máx. mm	mín. mm	máx. mm	mín. mm	máx. mm	mín. mm	máx. mm
½	21,2	21,5	-	-	-	-	-	-	1,7	2,1	2,9	3,3
¾	26,6	26,9	-	-	-	-	-	-	1,9	2,5	2,9	3,4
1	33,4	33,7	-	-	-	-	-	-	2,2	2,7	3,4	3,9
1 ½	48,1	48,4	-	-	-	-	2,5	3,0	3,1	3,7	3,7	4,2
2	60,2	60,5	-	-	2,5	3,0	3,1	3,7	3,9	4,5	3,9	4,4
2 ½	72,8	73,2	-	-	3,0	3,3	3,9	4,3	4,8	5,3	-	-
3	88,7	89,1	2,9	3,3	3,5	4,1	4,6	5,3	5,7	6,6	-	-
4	114,1	114,5	3,4	3,8	4,5	5,2	6,0	6,9	7,3	8,4	-	-
6	168,0	168,5	4,5	5,0	6,6	7,6	8,8	10,2	10,8	12,5	-	-
8	218,8	219,4	5,3	5,8	7,8	9,0	10,3	11,9	12,6	14,5	-	-
10	272,6	273,4	6,6	7,3	9,7	11,2	12,8	14,8	15,7	18,1	-	-
12	323,4	324,2	7,8	8,6	11,5	13,3	15,2	17,5	18,7	21,6	-	-

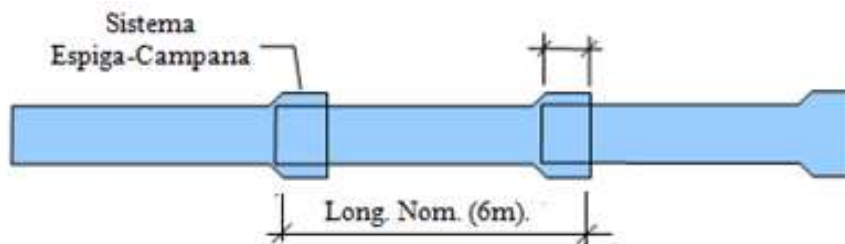
Fuente: (NB 213, 2000)

3.2.4.2 Longitud

La longitud de las tuberías y sus tolerancias serán las especificadas a continuación:

- La longitud total de la tubería será de 6 m, incluida la unión.
- Se podrán proveer otras longitudes a pedido del comprador y de acuerdo con el fabricante.
- La longitud total de las tuberías tendrá una tolerancia de - 0,2 % y + 0,5 %.

Figura 3.1: LONGITUD TUBERÍA PVC



Fuente: Guía de productos PVC

3.2.4.3 Coeficiente de flujo

El coeficiente Colebrook-White que se debe considerar es de 0.01 mm. Esto corresponde a un coeficiente Manning de 0,009 y a un coeficiente de flujo Hazen-Williams de $C=140$.⁴

3.2.5 Propiedades del PVC

3.2.5.1 Resistencia química

Comprobadamente los tubos y conexiones de PVC no sufren el ataque de los suelos ácidos o alcalinos, así como son inertes a la acción de la mayoría de los ácidos, alcalinos, aceites y sales.

Efecto de la temperatura.- En términos generales, conforme la temperatura aumenta hasta aproximadamente 60°C , el P.V.C. aumenta de peso en forma lineal. Al sobrepasar esta temperatura, el aumento es una razón cada vez mayor. Asimismo, la resistencia a la tensión decrece rápidamente a parte- de esta temperatura. El esfuerzo de arco y la presión de trabajo disminuyen considerablemente. Por esta razón, la temperatura de 60°C se recomienda como el límite superior de utilización de tuberías de P.V.C.

3.2.5.2 Resistencia a la corrosión

⁴ (*NB 689, 2004)

Las tuberías plásticas PVC tienen excelentes condiciones de resistencia a la corrosión. Son altamente resistentes externamente a la acción de suelos agresivos, ácidos, álcalis, soluciones salinas, aceites y productos químicos industriales.

3.2.5.3 Resistencia física y mecánica

Tabla 3-3: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PVC

Característica	Valor	Unidad
Coefficiente de dilatación térmica	0.08	mm/ (m°C)
Coefficiente de fricción	0.009 c =150	Manning Hazen Williams
Factor de disipación	0.02-0.04	800 mil a 1 millón de ciclos
Resistencia dieléctrica	20	Kw/mm
Conductividad térmica	35x10-5	Cal x cm/(cm2xsx°C)

Fuente: (Plamat, 2001)

Tabla 3-4: CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL PVC

Característica	Valor	Unidad
Tensión de diseño	100	Kg/cm2
Resistencia a la tracción	0.009 c =150	Kg/cm2
Resistencia a la compresión	0.02-0.04	Kg/cm2
Módulo de elasticidad	20	Kg/cm2
Resistencia al aplastamiento	35x10-5	Kg/cm2

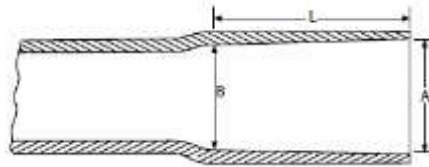
Fuente: (Plamat, 2001)

3.2.6 Sistema de unión

a) Unión soldable

La unión soldable es de tipo espiga campana y será realizada a la temperatura ambiente con un pegamento especial para PVC, según las recomendaciones del fabricante.

Figura 3.2: ESQUEMA DE LAS UNIONES SOLDABLES



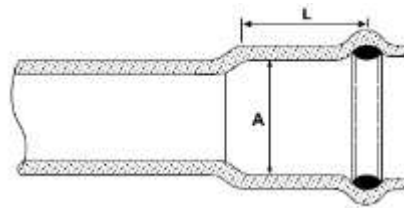
Fuente: (NB 213, 2000)

b) Unión flexible

La unión flexible es del tipo espiga campana con un anillo de goma, la espiga deberá estar biselada según lo dispuesto en esta norma, la unión será realizada a la temperatura ambiente, según las recomendaciones del fabricante.

El anillo de goma forma parte integral del tubo, siendo incorporado en la campana durante el proceso de fabricación, lo que garantiza mayor calidad y durabilidad. El anillo de sello posee un núcleo de acero que sirve para mantenerlo firmemente posicionado en su alojamiento. Esto evita la pérdida del anillo durante el transporte o almacenamiento del tubo e impide que el anillo se desplace accidentalmente durante el proceso de montaje de la junta.

Figura 3.3: ESQUEMA DE LAS UNIONES FLEXIBLES



Fuente: (NB 213, 2000)

Figura 3.4: JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA



Fuente: (TIGRE BOLIVIA, 2008)

c) Unión roscada

La unión roscada, será realizada a la temperatura ambiente, según las recomendaciones del fabricante.

3.2.7 Accesorios

Son los elementos necesarios para dar continuidad, enlazar, direccionar y derivar las tuberías. Para conducciones de PVC-U hay una amplia gama de accesorios normalizados (manguitos, codos, té, bridas, reducciones, derivaciones, conos, acometidas, tapones, etc.), como los mostrados a título de ejemplo en la Figura 3.5. Para el detalle de las dimensiones de los mismos, consultar el manual técnico del cada fabricante.

Figura 3.5: ACCESORIOS PVC



Fuente: Elaboración propia

3.2.8 Clasificación de las tuberías PVC

Según (NB 213, 2000), las tuberías de policloruro de vinilo (PVC-U) no plastificado para conducción de agua potable, por la presión máxima de trabajo soportada, se clasifican en:

- Clase 6 (presión de una columna de agua de 60 m) = 6×10^5 Pa.
- Clase 9 (presión de una columna de agua de 90 m) = 9×10^5 Pa.
- Clase 12 (presión de una columna de agua de 120 m) = 12×10^5 Pa.
- Clase 15 (presión de una columna de agua de 150 m) = 15×10^5 Pa.

- Clase Ro (presión de una columna de agua de 100 m) = 10×10^5 Pa.

Las presiones de trabajo indicadas se basan en agua a la temperatura de $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y son las presiones máximas de trabajo para las cuales las tuberías son adecuadas en su uso.

3.2.9 Emplazamiento en obra

3.2.9.1 Profundidad de instalación

La profundidad mínima para el tendido de la tubería de aducción debe ser mayor o igual a 0,60 m sobre la clave de la misma.

En áreas de cultivo, cruce de caminos, líneas de ferrocarril o aeropuertos, la profundidad mínima debe ser de 1,00 m sobre la clave de la tubería.

En el caso de suelos rocosos e inestables, el proyectista debe tomar medidas de protección necesarias como revestimientos de hormigón simple y anclajes.

En zonas con pendiente fuerte se deben adoptar tendidos superficiales siempre y cuando se tenga en cuenta apoyos y anclajes antideslizables.

En el caso de las tuberías de PVC deben necesariamente estar enterradas.

3.2.9.2 Ancho de la zanja

a) $B = DE + 400 \text{ mm}$

b) $B = 1,25 DE + 300 \text{ mm}$

El ancho de la zanja para tubos de PVC, debe ser como mínimo de 60 cm, para zanjas de hasta 2 m de profundidad.

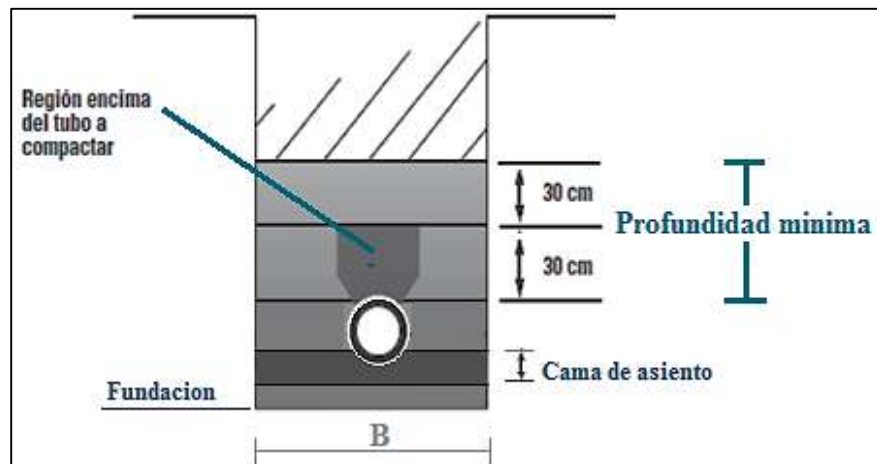
Para zanjas comprendidas entre 2 a 4 m de profundidad, deben tener como mínimo 80 cm.⁵

Toda la tubería independientemente del tipo de asentamiento empleado, se debe asegurar que los materiales de relleno se coloquen en capas de 30 cm.

⁵ (TIGRE BOLIVIA, 2008)

El material restante de tapada debe ser lanzada en tandas sucesivas asegurando la compactación de cada una de ellas de forma de obtener el mismo grado de compactación en toda la zanja. (Figura 3.6).

Figura 3.6: REQUERIMIENTO DE TAPADA DE ZANJA



Fuente: Propia

3.2.9.3 Sistema de instalación

Para la unión con anillo de goma (junta rápida), también conocida como junta elástica. La conexión de un tubo a otro se efectúa insertando el extremo biselado a la campana con goma del otro tubo.

Materiales necesarios:

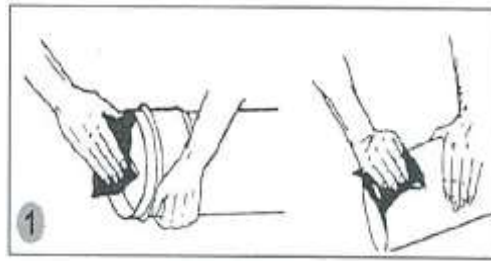
- Sierra o serrucho de diente fino
- Lima o escofina
- Trapo limpio y seco
- Lubricante

Procedimiento

Para obtener una inserción correcta deberán seguirse las siguientes recomendaciones:

Paso 1. Antes de efectuar la inserción, deberán limpiar tanto la campana como el extremo biselado del otro tubo con un trapo limpio y seco. Ver Figura 3.7

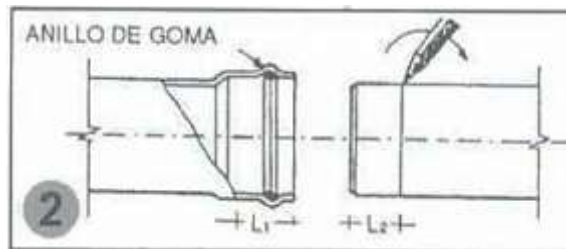
Figura 3.7: SISTEMA DE UNIÓN PVC (PASO 1)



Fuente: (Plamat, 2001)

Paso 2. Tome la medida de la campana y marque esta medida en el extremo biselado del otro tubo, esto con el fin de verificar la profundidad de inserción. Ver Figura 3.8

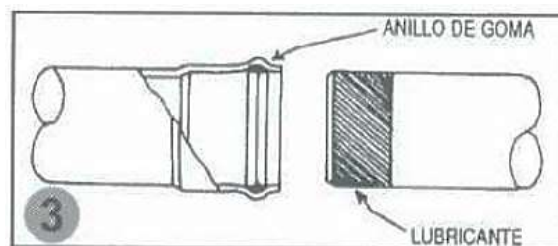
Figura 3.8: SISTEMA DE UNIÓN PVC (PASO 2)



Fuente: (Plamat, 2001)

Paso 3.- Sobre el extremo biselado del tubo se aplica una capa de lubricante. Ver Figura 3.9

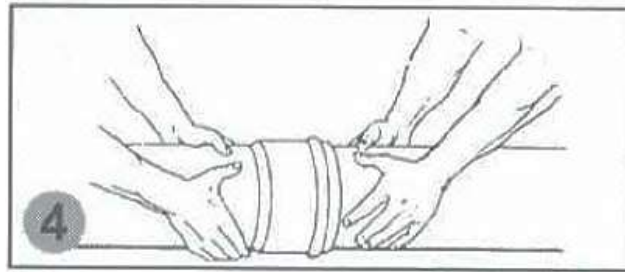
Figura 3.9: SISTEMA DE UNIÓN PVC (PASO 3)



Fuente: (Plamat, 2001)

Paso 4.- Se inserta el extremo biselado en la campana del tubo, girando levemente y haciendo presión hacia adentro. Ver Figura 3.10

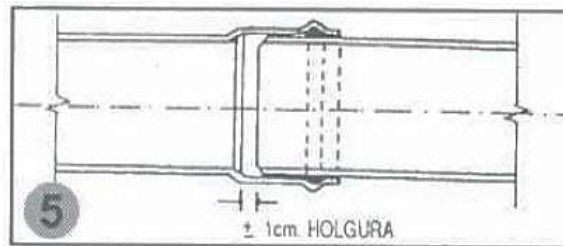
Figura 3.10: SISTEMA DE UNIÓN PVC (PASO 4)



Fuente: (Plamat, 2001)

Paso 5.- Se debe tener cuidado de que la inserción no se haga hasta el fondo de la campana ya que la unión opera también como junta de dilatación. Ver Figura 3.11

Figura 3.11: SISTEMA DE UNIÓN PVC (PASO 5)



Fuente: (Plamat, 2001)

3.2.9.4 Prueba hidráulica

Las verificaciones deben ser hechas de preferencia entre derivaciones nomas distantes de 500 m una de otra: Después del asentamiento de los tubos, y su correspondiente tapada y anclaje, dejando libre las uniones para la inspección, la tubería debe ser presurizada hasta exigida a 1,5 veces la presión de servicio del tubo, en el punto de cota geométrica más baja. En ningún punto de la tubería la presión hidrostática interna de ensayo puede ser inferior a los 0,2 Mpa. Mantener la presión estable dentro de la tubería no menos de 30 min.

3.3 Tuberías de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV)

El plástico reforzado con vidrio o plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), también denominado con las siglas GFRP (Glass-Fiber Reinforced Plastic), o GRP (*Glass Reinforced Plastic*), es un material compuesto, formado por una matriz de plástico o resina reforzada con fibras de vidrio. No es inusual denominar informalmente a este material simplemente como "fibra de vidrio".

Figura 3.12: FIBRAS DE VIDRIO EMPLEADAS COMO REFUERZO EN EL PRFV



Fuente: (Wikipedia, 2017)

Se trata de un material ligero, resistente y fácil de moldear, por lo que es muy usado en la elaboración de piezas de formas suaves y complejas. En la industria náutica se utiliza para confeccionar el casco de algunas embarcaciones; en aeronáutica y en la industria automovilística para piezas y carrocerías, y en el sector de la construcción como envolvente o fachada en edificios singulares con formas de irregulares.

3.3.1 Breve historia

El desarrollo de los polímeros reforzados con fibra para uso comercial comenzó en los años 30. En el año 1932 la empresa Owens-Illinois produjo a escala industrial las primeras partidas de fibra de vidrio de pequeño diámetro y en 1936 du Pont desarrolló la resina de poliéster. El PRFV empezó a utilizarse durante la II Guerra Mundial en la fabricación de componentes para aviones y cubiertas para equipos de radares electrónicos. Uno de los principales motivos que impulsaron el desarrollo del PRFV como material estructural en esta época fue la necesidad de radomos para los aviones, debido su mayor permeabilidad a las microondas.

El PRFV se siguió utilizando más adelante y, aunque era caro, la facilidad del material para adquirir formas complejas al moldearlo lo hizo popular entre los diseñadores. En el ámbito civil empezó a utilizarse en la fabricación de embarcaciones, ganando aceptación en la década de los 50, cuando ya se utilizaba para fabricar láminas translúcidas. De ahí se extendió a la industria del automóvil y a la aeronáutica, donde está siendo desplazado por la fibra de carbono, más resistente. El interés por el material compuesto de fibra de vidrio/poliéster para la industria de la construcción comenzó en los años 60 y se fue acrecentando, aunque fue a finales de siglo cuando se empezó a aplicar con cierto criterio en elementos estructurales.⁶

3.3.2 Fabricación

Existen varias formas de confeccionar un laminado de PRFV, dependiendo de cómo se dispongan las fibras de vidrio dentro de la matriz plástica. La fibra puede colocarse como una o varias mallas superpuestas, en una dirección o en direcciones perpendiculares, en función de los esfuerzos a los que tenga que estar sometido el material. En ocasiones se utilizan más mallas de fibra como refuerzo puntual en las zonas más solicitadas. También pueden proyectarse las fibras de vidrio con pistola, quedando los hilos dispuestos aleatoriamente dentro del material —de forma análoga a como se elaboraba el adobe—.

El grosor, la cantidad y la disposición de las fibras modifican sustancialmente tanto el peso como la resistencia del compuesto, por lo que esta variable se mide utilizando conceptos y unidades de la industria textil, como el *Tex* (peso en gramos de 1000 m de fibra), o los metros de hilo por cada kg de material, que en el sistema anglosajón se denomina *Yield* (yardas de hilo por cada libra de material).

La cantidad de fibra de vidrio empleada varía dependiendo del tipo de PRFV. En porcentaje sobre el peso total, Las cantidades más habituales empleadas en la tipología

⁶ (O-tek, 2012)

de vidrio proyectado oscilan entre el 20% y el 45%, en mallas bidireccionales entre el 35% y el 65%, y en mallas unidireccionales entre el 50% y el 90%.⁷

3.3.3 Aplicaciones principales

Los tubos de PRFV son susceptibles de ser utilizados en una gran cantidad de aplicaciones para el transporte de agua en el ámbito de la obra civil, básicamente las siguientes:

- Abastecimiento de agua potable
- Saneamiento (por gravedad o bajo presión hidráulica interior)
- Regadío
- Reutilización de aguas residuales
- Aprovechamientos hidroeléctricos
- Instalación de conducciones sin apertura de zanja (hincas)

Incluso, aparte de las anteriores aplicaciones convencionales, los tubos de PRFV de gran diámetro pueden emplearse hoy en día para construir con ellos depósitos o tanques de tormenta en las redes de saneamiento y drenaje urbano.

3.3.4 Información técnica

3.3.4.1 Aprobaciones para el transporte de agua potable

Los tubos PRFV han sido ensayados y aprobados para el transporte y distribución de agua potable, cumpliendo con el criterio de muchos institutos y organismos mundiales, incluyendo:

- OVGW – Austria
- Belgaqua – Bélgica
- DVGW – Alemania
- VTT – Finlandia
- TIN – Polonia
- ICECON – Rumania

⁷ (Wikipedia, 2017)

- NSF (Norma N° 61)– Estados Unidos
- Oficina Técnica de Estudios y Controles– España
- SVGW – Suiza
- Water Byelaws Scheme (WBS). Reino Unido
- Ministerio de Servicios de Salud Pública de la Federación Rusa - Rusia

3.3.4.2 Diámetros

Puede ser suministrada en los siguientes diámetros nominales (mm). Diámetros mayores o diferentes hasta 3000 mm están disponibles a solicitud del cliente.

Tabla 3-5: DIÁMETROS NOMINALES (mm)

300	800	1500	2400
350	900	1600	2600
400	1000	1700	2800
450	1100	1800	3000
500	1200	1900	
600	1300	2000	
700	1400	2200	

Fuente: (O-tek, 2012)

Figura 3.13: TUBERÍA DE PRFV DN 2000

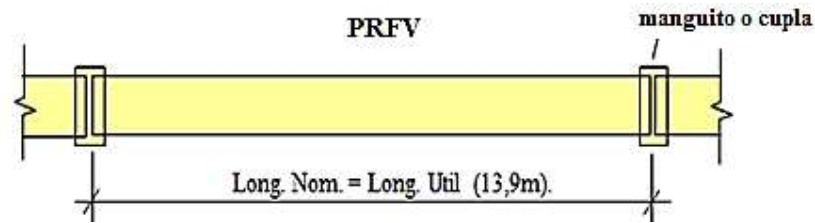


Fuente: (O-tek, 2012)

3.3.4.3 Longitudes

La longitud estándar de la tubería es de 14 m. Pueden producirse otras longitudes según las necesidades específicas del proyecto.

Figura 3.14: LONGITUD ÚTIL Y LONGITUD NOMINAL



Fuente: Guía de productos PRFV

3.3.4.4 Presiones

La siguiente tabla contiene las diferentes clases de presiones en las que se pueden suministrar. No todas las clases de presiones se pueden fabricar en todos los diámetros y rigideces.

Tabla 3-6: TABLA DE PRESIONES PRFV

Clase de Presión PN (Bar)	Presión de Trabajo PW (Bar)	Diámetro Límite (mm)
1 (gravedad)	1	3000
6	6	3000
10	10	3000
16	16	3000
20	20	3000
25	25	2400
32	32	1800

Fuente: (O-tek, 2012)

3.3.4.5 Coeficiente térmico

El coeficiente térmico de expansión y contracción axial de la tubería es de 24 a 30 x 10⁻⁶ cm/cm/°C.

3.3.4.6 Coeficiente de flujo

El coeficiente Colebrook-White que se debe considerar es de 0.029 mm. Esto corresponde a un coeficiente Manning de 0,009 y a un coeficiente de flujo Hazen-Williams de $C=150$.

3.3.4.7 Velocidad de flujo

La velocidad de flujo máxima recomendada es de 3,0 m/seg. Se puede trabajar con velocidades de hasta 4,0 m/seg. si el agua es limpia y no contiene materiales abrasivos. Para velocidades mayores a las aquí establecidas favor de consultar a su proveedor.

3.3.4.8 Resistencia a los rayos uv

No existe evidencia que demuestre que los rayos ultravioletas sean un factor que afecte la vida útil de las tuberías PRFV. Sólo la superficie externa se verá afectada presentando decoloración. Si se desea, el contratista que instala el producto podrá pintar el exterior de la tubería con pintura a base de uretano compatible con GRP. Sin embargo, este tratamiento requerirá un mantenimiento futuro.

3.3.5 Propiedades del PRFV

3.3.5.1 Resistencia química

En *Anexo 1* (se muestra tabla de resistencias químicas para las tuberías PRFV)

3.3.5.2 Efecto de la temperatura

35°C o menores.- No se requiere degradación de presión para la tubería. La selección de la resina debe hacerse de acuerdo con la lista ambiental de la Guía de cada fabricante. Debe considerarse que dependiendo del ambiente, pueden existir limitaciones adicionales relacionadas con la temperatura.

Entre 36°C y 50°C.- Se deberá seguirse la siguiente recomendación de degradación de presión para la tubería:

Tabla 3-7: DEGRADACIÓN TUBERÍA PRFV

Temperatura (°C)	Degradación (%)
36 a 40	30
41 a 45	40
46 a 50	50

Fuente: (O-tek, 2012)

3.3.6 Sistema de unión

Los tubos y las piezas especiales de PRFV pueden estar provistos con diferentes tipos de uniones, siendo las más habituales las siguientes.

3.3.6.1 Uniones rígidas

- Con bridas (fijas o móviles)
- Encoladas (o pegadas)
- Químicas a tope (o laminadas)

3.3.6.2 Uniones flexibles

- Con enchufe y extremo liso con anillo elastomérico (en ocasiones doble anillo)
- Con manguitos y elemento de estanquidad (también doble anillo)
- Autotrabada, cuando se prevean esfuerzos de tracción

Cada proyecto en particular debe especificar los tipos de uniones que sean de aplicación. Caso de no hacerlo se suelen utilizar, en general, uniones flexibles, bien con enchufe y campana o bien mediante manguito.

Las uniones con manguito tienen la ventaja de una mejor adaptabilidad de los tubos al trazado exacto de la conducción y a la conexión con las piezas especiales y los pozos de registro. Por el contrario, suponen un punto de mayor rigidez y una discontinuidad en la conducción.

Las uniones flexibles pueden ir equipadas con una válvula de prueba que permite comprobar la estanquidad de la unión antes de realizar las pruebas de la tubería instalada

Figura 3.15: SISTEMAS DE UNIÓN EN TUBERÍAS DE PRFV



Fuente: Propia

3.3.7 Accesorios

En PRFV hay disponible todo el rango de piezas especiales necesarias, básicamente de la siguiente tipología: codos, derivaciones, conos (reductores), acometidas (entronques) y tubos cortos (bridas).

Figura 3.16: ACCESORIOS EN PRFV



Fuente: Propia

3.3.8 Clasificación de las tuberías PRFV

La selección de las tuberías PRFV se basa en los requerimientos de presión y rigidez.

Rigidez.- La rigidez de las tuberías PRFV se especifica de una de las tres clases de rigideces de la siguiente Tabla 3-8. La clase de rigidez representa la mínima rigidez (EI/D³) específica inicial de la tubería en N/m².

Tabla 3-8: CLASE DE RIGIDEZ PRFV

SN	N/m ²
2500	2500
5000	5000
10000	10000

Fuente: (O-tek, 2012)

La rigidez se selecciona de acuerdo a dos parámetros:

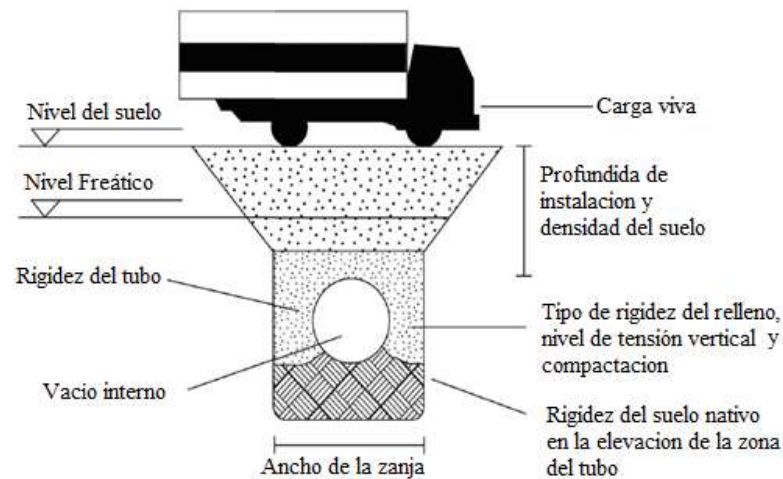
- Condiciones de instalación que incluyen suelo nativo, tipo de relleno y profundidad de instalación a la clave.
- Presión negativa, si esta existe.

3.3.9 Emplazamiento en obra

El tipo de procedimiento de instalación apropiado para los tubos varía de acuerdo a la rigidez del tubo, la profundidad de la cobertura, el ancho de la zanja, las características de los suelos nativos, las sobrecargas y los materiales de relleno. El material nativo debe confinar adecuadamente el relleno de la zona del tubo para alcanzar el soporte adecuado. Las siguientes indicaciones sobre instalación procuran asistir al instalador para lograr una adecuada instalación del tubo.

Los parámetros más importantes para el diseño de la instalación se indican en la Figura 3.17. La rigidez del suelo nativo, la profundidad de enterramiento, el nivel freático, la carga viva, y el vacío interno deben determinarse de acuerdo con las condiciones a lo largo del recorrido de la tubería planificada. De acuerdo con esta información y el material de relleno disponible, se seleccionará la compactación del relleno, el ancho de zanja y la rigidez del tubo.

Figura 3.17: PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA INSTALACIÓN



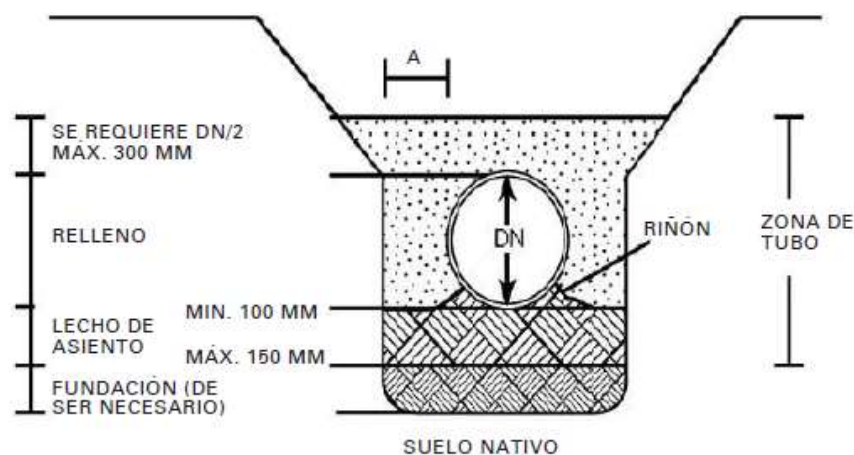
Fuente: (O-tek, 2012)

3.3.6.3 Zanja estándar

La Figura 3.18 muestra las dimensiones normales de una zanja.

La dimensión "A" siempre debe ser lo suficientemente ancha como para permitir un espacio apropiado que asegure el correcto posicionamiento y compactación del relleno en el riñón del tubo. La dimensión "A" debe también ser lo suficientemente ancha como para operar el equipo de compactación sin dañar los tubos. La dimensión "A" normal es de $0,4 \text{ DN}$ y la dimensión A, mínima es $0,75 * \text{DN}/2$

Figura 3.18: DETALLE DE ZANJA ESTÁNDAR PRFV



Fuente: (O-tek, 2012)

3.3.6.4 Lecho de asiento del tubo

El lecho de asiento del tubo debe estar ubicado sobre un fondo de zanja firme y estable de modo que proporcione un adecuado apoyo. El lecho de asiento terminado debe proporcionar un apoyo firme, estable y uniforme al cuerpo del tubo y a cualquier saliente de la junta.

Se debe proporcionar un lecho de asiento de 100-150 mm debajo del tubo y de 75 mm debajo del acople.

3.3.6.5 Prueba hidráulica

Los buenos procedimientos de construcción indican que no debe instalarse más de 1000 m de tubería sin someterla a prueba, a fin de comprobar la calidad del trabajo. El primer ensayo hidráulico en obra debería incluir al menos una válvula de aire o cámara de drenaje para evaluar la totalidad de la tubería.

Además de los cuidados rutinarios, las precauciones normales y los procedimientos típicos utilizados en este ensayo, se deben tener en cuenta las siguientes sugerencias:

- a) Preparación previa al ensayo. Revise la instalación final para asegurarse de que todos los trabajos hayan sido terminados correctamente.
- b) Llene la tubería con agua. Abra las válvulas y respiraderos para dejar que salga todo el aire durante el llenado de la tubería y evitar sobrepresiones.
- c) Presurice la línea lentamente. Cuando una línea está bajo presión, almacena una gran cantidad de energía que debe ser tenida en cuenta.
- d) Asegúrese de que la posición del manómetro indique la presión más alta de la línea. De no ser así debe ajustarlo adecuadamente. Las posiciones más bajas de la línea tendrán presiones más altas debido a la carga adicional.
- e) Asegúrese de que la presión de ensayo no sobrepase 1,5x PN. Normalmente la presión del ensayo en obra es un múltiplo de la presión operativa o la presión operativa más un pequeño incremento. Sin embargo, en ningún caso la presión debe sobrepasar 1,5 x PN.
- f) Si después de un breve plazo de estabilización la línea no mantiene una presión constante, debe, asegurarse de que ello no se deba al efecto térmico (un cambio

de temperatura), la expansión de la tubería o a la presencia de aire atrapado en la tubería. Si se determina que la tubería tiene una fuga que no puede ser fácilmente localizada, los siguientes métodos pueden contribuir a detectar el origen del problema:

- Verifique las zonas con bridas y válvulas.
- Revise los puntos de derivación de la tubería.
- Use un equipo de detección por sonido.
- Realice pruebas de la línea en tramos cortos para aislar la fuga.

3.4 Tuberías de hierro fundido dúctil (FFD)

La tubería de Hierro dúctil, es un producto de avanzada metalurgia, la cual ofrece propiedades únicas para la conducción de agua bajo presión y otros usos. Combina la resistencia de un acero con la larga vida del hierro gris fundido. La tubería de hierro dúctil, ofrece el máximo margen de seguridad posible contra fallas de mantenimiento debido a los movimientos de tierra y esfuerzos residuales.

Figura 3.19: TUBOS DE HIERRO FUNDIDO DÚCTIL



Fuente: (INGENIERÍA CIVIL, 2011)

3.4.1 Breve historia

El evento más importante en la historia de la tubería fue el desarrollo de hierro dúctil en 1948. En un período relativamente corto, la tubería de hierro fundido ha ganado una amplia aceptación. Las especificaciones para el uso de hierro dúctil han aumentado al grado de que toda la tubería de hierro que se ha instalado en los últimos años ha sido

de hierro dúctil, y la tubería de hierro gris ya no se fabrica. Las mejoras en los métodos de vaciado, el procesado y la tecnología metalúrgica están, en forma continua, produciendo tubería de calidad superior que es capaz de satisfacer las necesidades específicas del siglo XXI y más allá.⁸

Figura 3.20: UNA SECCIÓN DE TUBERÍA DE HIERRO FUNDIDO 1830.



Fuente: Tomado de (clima.dicym, 2005)

3.4.2 Fabricación

El hierro dúctil se produce al darle tratamiento al hierro fundido con base de azufre bajo y agregándole magnesio bajo condiciones estrechamente controladas. El cambio sorprendente en el metal está caracterizado por el grafito libre que se deposita en forma de esferas o nódulos en lugar de que se deposite en forma de escamas como sucede con el hierro gris. Con el grafito libre en forma nodular, la continuidad de la matriz de metal está a un máximo, lo cual explica la formación de un material dúctil que supera, por márgenes muy amplios, al fierro gris, en cuanto a su ductilidad y resistencia a la tensión y al impacto.

Después del proceso de fundido, el hierro dúctil se lleva a máquinas centrífugas de vaciado de tubería. El hierro dúctil fundido se vierte desde la parte inferior de un cucharón de tipo cuadrante dentro de un molde de tubería en rotación que está dentro

⁸ (clima.dicym, 2005)

de la máquina de vaciado. Un núcleo de arena recubierto de resina, sirve para sellar el extremo de la campana del molde y para formar la parte interior de la campana de la tubería para la junta específica que se esté fabricando.

Figura 3.21: TRATAMIENTO TÉRMICO



Fuente: (SAINT-GOBAIN PAM ESPAÑA, S.A., 2013)

3.4.3 Aplicaciones principales

Para aplicaciones de agua potable, aguas residuales y riego. Fabricada bajo las normas ISO y disponibles con diferentes tipos de revestimiento y conexiones según la aplicación.

3.4.4 Información técnica

3.4.4.1 Diámetros

Las tuberías se encuentran en función de un intervalo de diámetros nominales (DN), que se extienden desde un diámetro nominal DN 40 hasta un diámetro nominal DN 2600.

El DN 60, que se indica entre paréntesis en las tablas existe en algunos países, sin embargo es recomendable, en tanto sea posible, se reemplace por DN 65.

3.4.4.2 Espesor normal de tuberías

El espesor normal en tuberías de hierro fundido, se determina en función del diámetro nominal mediante la siguiente fórmula:

$$e = k (0,5 + 0,001 \text{ DN})$$

Dónde:

e: espesor normal de la pared, en mm.

DN: diámetro nominal.

k: coeficiente elegido entre una serie de números enteros (... , 9, 10, 11, 12,...)

k = 9 (véase Tabla 3-11)

Cuando sea necesario, cada especificación particular indica una fórmula adicional aplicable a piezas de diámetro reducido. El diámetro externo de las tuberías, expresado en milímetros, se determina en función del diámetro nominal e independientemente del espesor de la pared de la tubería.

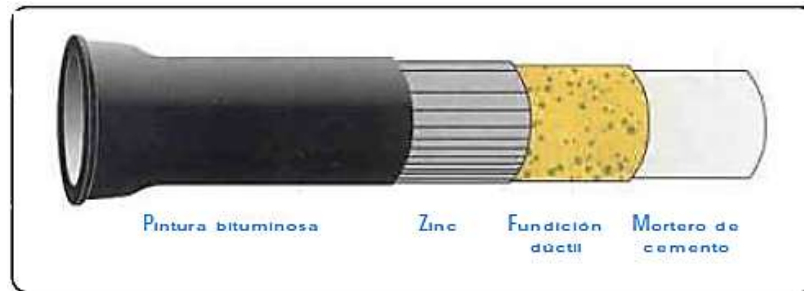
El incremento o disminución del espesor de la pared de la tubería se obtiene modificando el diámetro real interno.

3.4.4.3 Revestimiento interno

La protección interior de los tubos de fundición dúctil, está asegurada con un revestimiento interno de mortero de cemento aplicado por centrifugación.

Este revestimiento no actúa simplemente como una barrera sino que protege la pared del hierro dúctil mediante un mecanismo de pasivación ya que tras el llenado de la tubería el agua se embebe poco a poco en el mortero de cemento y pierde sus elementos alcalinos.

Figura 3.22: REVESTIMIENTO INTERNO TUBERÍA FFD



Fuente: (CONSULTSERVICE, 2010)

3.4.4.4 Rugosidad de los revestimientos interiores con mortero de cemento

Los revestimientos interiores con mortero de cemento centrifugado tienen una superficie lisa y regular. Una serie de pruebas han sido realizadas para evaluar el valor k de la rugosidad superficial de los tubos recién revestidos interiormente con cemento, hallándose un valor promedio de 0,03 mm.

Sin embargo, la rugosidad de superficie equivalente de una canalización no depende solamente de la regularidad de la pared del tubo sino también, y sobre todo, del número de codos, tees y conexiones, así como de las irregularidades del perfil de la canalización. La experiencia ha mostrado que $k = 0,1$ mm es un valor razonable en el caso de las canalizaciones de distribución. En el caso de grandes tuberías que comportan un reducido número de uniones por kilómetro, k puede resultar un poco inferior (0,06 a 0,08 mm).

3.4.5 Propiedades del FFD

3.4.5.1 Resistencia química

Protección Interior.- El mortero de cemento para el revestimiento conforme a la norma ISO 4179.

Protección Exterior.- El Zinc metálico conforme a la norma ISO 8179, y bitún o sus requisitos.

3.4.5.2 Resistencia a la corrosión

Las tuberías de hierro dúctil obtuvieron un alto nivel de resistencia a la corrosión causada por las corrientes eléctricas. Hasta hoy en día, una plenitud de tuberías de hierro dúctil que ha sido enterrado por más de cien años todavía funciona en buena condición.

3.4.5.3 Resistencia física y mecánica

Tabla 3-9: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

Tipo de Fundición	Resistencia a la Tracción N/mm ²	Elongación %		Dureza
	DN80 -- DN2000	DN80 -- DN1000	DN1100 -- DN2000	HB
tuberías	≥ 420	≥ 10	≥ 7	≤ 230
accesorios	≥ 420	≥ 5		≤ 250

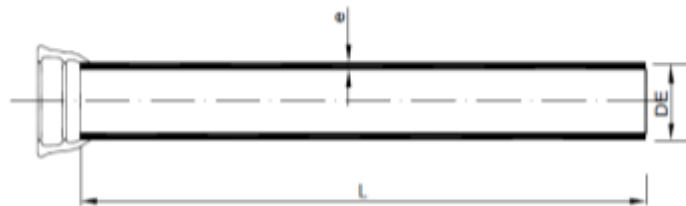
Fuente: (CONSULTSERVICE, 2010)

3.4.6 Sistema de unión

3.4.6.1 Unión con extremos espiga y campana

La Tabla 3-11 define las tuberías de extremos espiga y campana de fierro fundido dúctil empleadas en el transporte y distribución de agua. Se aplica igualmente a las tuberías de doble extremo espiga.

Figura 3.23: TUBERÍAS CON EXTREMOS ESPIGA Y CAMPANA



Fuente: (NB 645, 2007)

a) Espesor

El espesor (e) de fierro fundido, (véase Figura 3.23) se determina en función del diámetro nominal DN, empleando la fórmula que se describe en, considerando el valor $k = 9$; bajo lo siguiente:

$$e = 4,5 + 0,009 \text{ DN}$$

Sin embargo, para las tuberías DN 40 a DN 200 el espesor se calcula mediante la fórmula:

$$e = 5,8 + 0,003 \text{ DN}$$

Con un valor de e, mínimo de 6 mm. dónde:

e: Espesor nominal de la pared, en mm

DN: Diámetro nominal de la tubería, adimensional

b) Longitud útil normal

Las longitudes útiles normales de las tuberías de extremos espiga y campana se describen en Tabla 3-10.

Tabla 3-10: LONGITUD ÚTIL NORMAL

Diámetro nominal DN				Longitud útil normal (L) m
40	≤	DN	≤ 65	2 - 3 - 4 - 5 - 5,5 - 6
80	≤	DN	≤ 500	4 - 5 - 5,5 - 6
600	≤	DN	≤ 2 600	4 - 5 - 5,5 - 6 - 7 - 8 - 9

Fuente: (NB 645, 2007)

c) Dimensiones y pesos para tuberías clase $k = 9$

En la Tabla 3-11 se establecen las características que deben cumplir este tipo de tuberías en función a lo establecido en Figura 3.23, donde:

$e = 5,8 + 0,003 \text{ DN}$, con un valor mínimo de 6 mm para DN 40 a DN 200, y

$e = 4,5 + 0,009 \text{ DN}$, para DN 250 a DN 2 600

Tabla 3-11: CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS (ESPIGA Y CAMPANA)

Diámetro Nominal (DN)	Cuerpo			Peso del encaje (aprox) kg	Peso total (aproximado) para una longitud útil (L) de:								
	(DE) mm	(e) mm	Peso por ml (aprox) kg		2m kg	3m kg	4m kg	5m kg	5,5m kg	6m kg	7m kg	8m kg	9m kg
40	56	6,0	6,6	1,7	15,0	21,5	28,0	34,5	38,0	41,5			
50	66	6,0	8,0	2,1	18,0	26,0	34,0	42,0	46,0	50,0			
(60)	77	6,0	9,4	2,5	21,5	30,5	40,0	49,5	54,0	59,0			
65	82	6,0	10,1	2,7	23,0	33,0	43,0	53,0	58,5	63,5			
80	98	6,0	12,2	3,4			52,0	64,5	70,5	76,5			
100	118	6,1	15,1	4,3			64,5	80,0	87,5	95,0			
125	144	6,2	18,9	5,7			81,5	100	110	119			
150	170	6,3	22,8	7,1			98,5	121	133	144			
200	222	6,4	30,6	10,3			133	163	179	194			
250	274	6,8	40,2	14,2			175	215	235	255			
300	326	7,2	50,8	18,6			222	273	298	323			
350	378	7,7	63,2	23,7			277	340	371	403			
400	429	8,1	75,5	29,3			331	407	445	482			
500	532	9,0	104,3	42,8			460	564	616	669			
600	635	9,9	137,3	59,3			608	745	813	882	1 019	1 156	1 293
700	738	10,8	173,9	79,1			775	949	1 036	1 123	1 296	1 470	1 644
800	842	11,7	215,2	102,6			963	1 179	1 286	1 394	1 609	1 824	2 039
900	945	12,6	260,2	129,9			1 171	1 431	1 561	1 691	1 951	2 212	2 472
1 000	1 048	13,5	309,3	161,3			1 399	1 708	1 862	2 017	2 326	2 636	2 945
1 200	1 255	15,3	420,1	237,7			1 918	2 338	2 548	2 758	3 178	3 599	4 019
1 400	1 462	17,1	547,2	279,3			2 468	3 015	3 289	3 563	4 110	4 657	5 204
1 600	1 668	18,9	690,3	375,4			3 137	3 827	4 172	4 517	5 208	5 898	6 588
1 800	1 875	20,7	850,1	490,6			3 891	4 741	5 166	5 591	6 441	7 291	8 142
2 000	2 082	22,5	1 026,3	626,4			4 732	5 758	6 271	6 784	7 811	8 837	9 863
2 200	2 288	24,3	1 218,3	784,2			5 657	6 876	7 485	8 094	9 312	10 531	11 749
2 400	2 495	26,1	1 427,2	966,2			6 675	8 102	8 816	9 529	10 957	12 384	13 811
2 600	2 702	27,9	1 652,4	1 173,7			7 783	9 423	10 262	11 088	12 741	14 393	16 045

Fuente: (NB 645, 2007)

3.4.6.2 Tubería con bridas

a) Espesor

El espesor de pared “e” se determina en función del diámetro nominal DN empleando la fórmula lineal (véase 59).

$$e = k (0,5 + 0,001 DN)$$

donde:

k = 12 y 14 para el caso de tuberías con bridas incorporadas;

k = 10 y 12 para el caso de tuberías con bridas roscadas; y

k = 9 para tuberías con bridas soldadas (de casquillo para soldar o con deslizamiento para soldar).

Al igual que en el caso de tuberías con extremos espiga y campana, el espesor de pared para tuberías de diámetros pequeños se determina empleando la siguiente fórmula:

$$e = 5,8 + 0,003 DN \text{ (con un valor mínimo de 6 mm)}$$

aplicable a las tuberías DN 40 a DN 200, clase k = 9 y a los DN 40 a DN 125 para las tuberías clase k = 10.

Lo establecido en estas normas o, en su defecto, los catálogos de los fabricantes, deben especificar cual de los valores del coeficiente k deben emplearse en el cálculo de los espesores de pared para tuberías con bridas incorporadas y tuberías con bridas superpuestas.

De acuerdo con Tabla 3-12, se encuentran disponibles cuatro tipos de bridas, que corresponden a las presiones nominales PN 10, PN 16, PN 25 y PN 40, y pueden conectarse a tuberías de manera fija o móvil. La última configuración tiene la ventaja de hacer más fácil el montaje de la pieza fundida y el cambio de PN. Además del espesor de pared, la Tabla 3-12 y Tabla 3-13 establecen el peso convencional por unidad de longitud, en kilogramos por metro, así como el peso unitario aproximado de la brida correspondiente, en kilogramos.

En caso de tuberías con bridas incorporadas o de bridas soldadas con casquillo (véanse la Figura 3.24 y Tabla 3-12), el peso unitario de la brida se ha incrementado considerando los espesores de conexión.

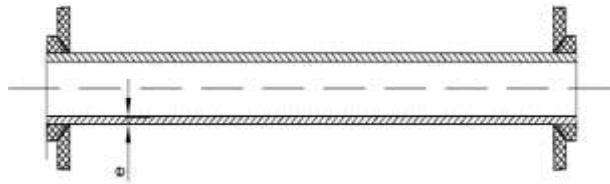
$$\left. \begin{array}{l} \text{Clase } k = 9 \\ \text{Clase } k = 12 \\ \text{Clase } k = 14 \end{array} \right\} e = \left\{ \begin{array}{l} 5,8 + 0,003 \text{ DN, con valor mínimo de 6 mm, desde DN 40 a DN 200} \\ 4,5 + 0,009 \text{ DN, desde DN 250 a DN 2 600} \\ 6 + 0,012 \text{ DN, con valor mínimo de 7 mm, desde DN 40 a DN 2 600} \\ 7 + 0,014 \text{ DN, desde DN 40 a DN 2 600} \end{array} \right.$$

Tabla 3-12: CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍAS CON BRIDAS

Diámetro nominal DN	Cuerpo de la tubería						Brida			
	k = 9 ¹⁾		k = 12 ²⁾		k = 14 ²⁾		Peso unitario ³⁾			
	e mm	Peso por m. lineal kg/m	e mm	Peso por m. lineal kg/m	e mm	Peso por m. lineal kg/m	PN 10 kg	PN 16 kg	PN 25 kg	PN 40 kg
40	6	6,6	7	7,6	7,6	8,1	1,7	1,7	1,7	1,7
50	6	8,0	7	9,1	7,7	9,9	2,1	2,1	2,1	2,1
(60)	6	9,4	7	10,9	7,8	12,0	2,2	2,2	2,1	2,1
65	6	10,1	7	11,6	7,9	13,0	2,5	2,5	2,4	2,4
80	6	12,2	7	14,1	8,1	16,1	2,9	2,9	2,9	2,9
100	6,1	15,1	7,2	17,7	8,4	20,4	3,3	3,3	3,8	3,8
125	6,2	18,9	7,5	22,7	8,8	26,4	4,0	4,0	4,6	5,9
150	6,3	22,8	7,8	28,0	9,1	32,4	4,9	4,9	5,9	8,0
200	6,4	30,6	8,4	39,7	9,8	46,1	6,8	6,6	8,7	14,0
250	6,8	40,2	9,0	52,8	10,5	61,3	9,6	9,2	13,1	23,2
300	7,2	50,8	9,6	67,3	11,2	78,1	12,8	12,4	18,0	33,5
350	7,7	63,2	10,2	83,1	11,9	96,5	14,1	17,2	25,5	-
400	8,1	75,5	10,8	100,0	12,6	116,2	16,3	21,9	33,2	-
500	9,0	104,3	12,0	138,2	14,0	160,6	21,8	37,0	48,7	-
600	9,9	137,1	13,2	181,8	15,4	211,3	30,8	57,3	71,5	-
700	-	-	14,4	230,8	16,8	268,4	40,5	55,6	-	-
800	-	-	15,6	285,5	18,2	332,1	54,8	74,0	-	-
900	-	-	16,8	345,4	19,6	401,7	64,3	88,2	-	-
1 000	-	-	18,0	410,6	21,0	477,7	81,4	122,9	-	-
1 200	-	-	20,4	557,8	23,8	649,0	120,9	185,2	-	-
1 400	-	-	22,8	726,8	26,6	845,7	147,8	215,9	-	-
1 600	-	-	25,2	916,9	29,4	1 067,0	206,4	308,4	-	-
1 800	-	-	27,6	1 129,3	32,2	1 314,2	236,3	362,2	-	-
2 000	-	-	30,0	1 363,4	35,0	1 586,8	279,4	432,2	-	-
2 200	-	-	32,4	1 618,6	37,8	1 883,9	345,6	512,3	-	-
2 400	-	-	34,8	1 896,2	40,6	2 207,0	398,8	601,1	-	-
2 600	-	-	37,2	2 195,6	43,4	2 555,5	436,9	672,0	-	-

Fuente: (NB 645, 2007)

Figura 3.24: TUBERÍAS CON BRIDAS INCORPORADAS



Fuente: (NB 645, 2007)

Fotografía 3-1: JUNTA CON BRIDAS

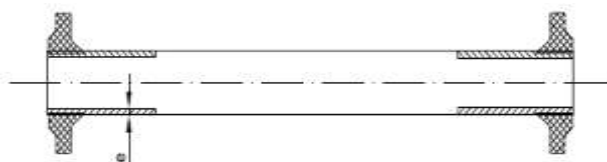


Fuente: (Saint-Gobain PAM, 2016)

Para las tuberías roscadas o con bridas soldadas con deslizamiento (véanse Figura 3.25 y Tabla 3-13), el peso unitario de la brida se ha incrementado en una cantidad que tiene en cuenta los espesores de conexión calculados a partir de una fórmula correspondiente al promedio de los valores utilizados en diferentes países.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Clase } k = 9 \\ \text{Clase } k = 10 \\ \text{Clase } k = 12 \end{array} \right\} e = \begin{cases} 5,8 + 0,003 \text{ DN, con valor mínimo de 6 mm, de DN 40 a DN 200} \\ 4,5 + 0,009 \text{ DN, desde DN 250 a DN 2 600} \\ 5,8 + 0,003 \text{ DN, con valor mínimo de 6 mm, de DN 40 a DN 100} \\ 5 + 0,010 \text{ DN, desde DN 125 a DN 2 600} \\ 6 + 0,012 \text{ DN, desde DN 40 a DN 2 600} \end{cases}$$

Figura 3.25: TUBERÍAS CON BRIDAS ROSCADAS



Fuente: (NB 645, 2007)

Tabla 3-13: ESPESOR DE PARED Y PESOS (TUBERÍAS BRIDAS ROSCADAS)

Diámetro nominal DN	Cuerpo de la tubería						Brida			
	k = 9 ¹⁾		k = 12 ²⁾		k = 14 ²⁾		Peso unitario ³⁾ (kg)			
	e mm	Peso por m. lineal kg/m	e mm	Peso por m. lineal kg/m	e mm	Peso por m. lineal kg/m	PN 10 kg	PN 16 kg	PN 25 kg	PN 40 kg
40	6	6,6	6	6,6	6,5	7,1	2,0	2,0	2,0	2,0
50	6	8,0	6	8,0	6,6	8,7	2,5	2,5	2,5	2,5
(60)	6	9,4	6	9,4	6,7	10,4	2,7	2,7	2,6	2,6
65	6	10,1	6	10,1	6,8	11,3	3,0	3,0	2,9	2,9
80	6	12,2	6	12,2	7,0	14,1	3,5	3,5	3,5	3,5
100	6,1	15,1	6,1	15,1	7,2	17,7	4,0	4,0	4,5	4,5
125	6,2	18,9	6,3	19,2	7,5	22,7	5,0	5,0	5,6	6,9
150	6,3	22,8	6,5	23,5	7,8	28,0	6,1	6,1	7,1	9,2
200	6,4	30,6	7,0	33,3	8,4	39,7	8,5	8,3	10,4	15,7
250	6,8	40,2	7,5	44,3	9,0	52,8	11,8	11,4	15,3	25,4
300	7,2	50,8	8,0	56,3	9,6	67,3	15,6	15,2	20,8	36,3
350	7,7	63,2	8,5	69,6	10,2	83,1	17,6	20,7	29,0	
400	8,1	75,5	9,0	83,7	10,8	100,0	20,5	26,1	37,4	-
500	9,0	104,3	10	115,6	12,0	138,2	27,6	42,8	54,5	-
600	9,9	137,1	11	152,0	13,2	181,8	38,4	54,9	79,1	-
700	10,8	173,9	12	193,0	14,4	230,8	50,2	65,3	.	-
800	11,7	215,2	13	238,7	15,6	285,5	66,7	85,9	-	-
900	12,6	260,2	14	288,7	16,8	345,4	78,7	102,6	.	-
1 000	13,5	309,3	15	343,2	18,0	410,6	98,6	140,1	-	
1 200	15,3	420,1	17	466,1	20,4	557,8	144,2	208,5	-	-
1 400	17,1	547,2	19	607,2	22,8	726,8	178,2	246,3	-	.
1 600	18,9	690,3	21	766,0	25,2	916,9	244,7	346,7	-	-
1 800	20,7	850,1	23	943,4	27,6	1 129,3	283,5	409,4	-	-
2 000	22,5	1 026,3	25	1 139,0	30,0	1 363,4	336,4	489,2	-	-
2 200	24,3	1 218,3	27	1 352,1	32,4	1 618,6	413,2	579,9	-	-
2 400	26,1	1 427,2	29	1 583,9	34,8	1 896,2	478,0	680,3	-	-
2 600	27,9	1 652,4	31	1 833,9	37,2	2 195,6	528,6	763,7	-	-

Fuente: (NB 645, 2007)

3.4.7 Accesorios

En general, los accesorios de hierro fundido dúctil son de diseños similares a los de hierro fundido (véase norma ISO 13). Así por ejemplo sus extremos son de brida - brida, brida - espiga, extremos campana - espiga o brida - campana.

Tabla 3-14: DETALLE DE TUBERÍAS, UNIONES Y ACCESORIOS

a) Tuberías			
Tipo	Junta elástica	Junta trabada	Junta con brida
K7			
K9			
b) Curvas			
Tipo	Junta elástica	Junta trabada	Junta con brida
90°			
45°			
22,5°			
11,25°			
c) Reducciones			
Junta elástica	Junta trabada	Junta con brida	
			
			
d) Cuplas			
Junta elástica	Junta con brida	Junta trabada	Para DN ≥ 1400
			
e) Piezas de transición			
Junta a brida	Bolsas		Punta
	Junta elástica	Junta trabada	
			

Fuente: (NB 645, 2007)

3.4.8 Clasificación de las tuberías FFD

Clasificación según el tipo de unión.

Esta norma especifica los siguientes tipos de tubería de hierro fundido dúctil:

- Tubería con extremos espiga y campana
- Tubería con bridas

3.4.9 Emplazamiento en obra

Las tuberías de FFD se instalan sobre la superficie, enterradas o combinando estas dos formas. Esto depende de la topografía, clase de tubería y geología del terreno, por ejemplo, en un terreno rocoso es probable que convenga llevarla superficialmente. En el tipo de instalación que se adopte, también se deben considerar otros factores relacionados con la protección de la línea.

3.4.9.1 Tubería sobre el terreno (Superficiales)

La práctica usual al instalar tuberías sobre soportes es tener un soporte por cada tramo de tubo ubicado detrás de la campana del tubo. Para instalaciones subterráneas, podría ser necesario un espaciamiento más cercano de los soportes debido a las mayores cargas externas impuestas sobre la tubería. Para instalaciones sobre el suelo, es necesario asegurar una estabilidad lateral y vertical mínima en los soportes.

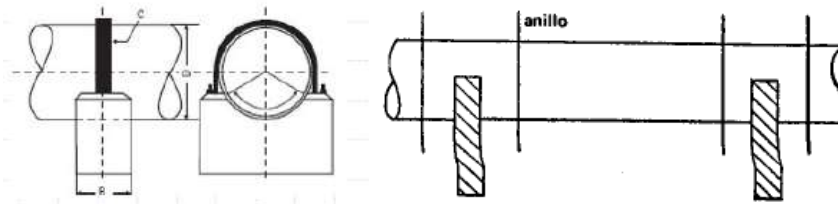
Fotografía 3-2: TUBOS DE HIERRO DÚCTIL SUSPENDIDOS



Fuente: (dipra, 2016)

Los elementos de anclaje (sillas de apoyo y machones) deben dimensionarse (cálculo estructural) tomando en cuenta el tipo de material de la tubería y el tipo de suelo que en que se emplazará.

Figura 3.26: SILLAS DE APOYO



Fuente: (OPS/CEPIS, 2004)

Figura 3.27: TUBERÍA SOBRE SILLAS DE APOYO



Fuente: (OPS/CEPIS, 2004)

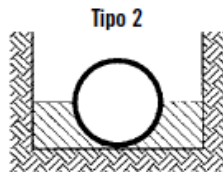
3.4.9.2 Tubería en zanja (enterrada)

La tubería se coloca sobre el fondo plano de la zanja. Si se encuentra piedras o lajas, se deberá de poner una capa de tierra suelta como cama. Se recomiendan huecos para alojar las campanas.

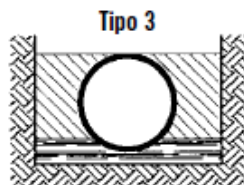
Zanja tipo 1.- Relleno a volteo, zanja de fondo plano† relleno suelto (no recomendado para DN 14" y mayor).



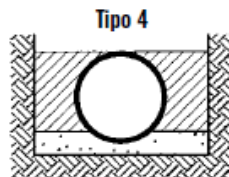
Zanja tipo 2.- Zanja de fondo plano. † Relleno ligeramente consolidado hasta la línea central de la tubería.



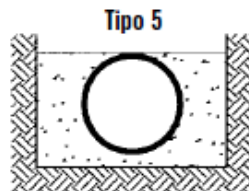
Zanja tipo 3.- Cama al fondo de la zanja mínimo de 4" en tierra suelta. †† Relleno ligeramente consolidado hasta el tope del tubo.



Zanja tipo 4.- Cama al fondo de la zanja en la arena, grava o piedra triturada a una profundidad de 1/8 del diámetro del tubo, mínimo 4". Relleno compactado hasta el tope del tubo. (Aproximadamente 80% Procter estándar, AASHTO T-99).



Zanja tipo 5.- Cama al fondo de la zanja hasta la línea central del tubo en material granular §, mínimo 4". Material granular o material selecto †† compactado hasta el tope del tubo (Compactación aproximadamente 90% "Proctor" estándar.)



† "de fondo plano" se define como suelos no molestados.

† † "tierra suelta" o "material selecto" se define como suelos nativos excavados de la zanja, libre de piedras, material extraño y tierra congelada.

§ Materiales Granulares se definen por el Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO (ASTM D3282) o el Sistema de Clasificación de Suelo Unificado (ASTM D2487), con la excepción de que las camas de grava / relleno adyacentes a la tubería se limita las partículas a un máximo de 2 " según ANSI / AWWA C600.

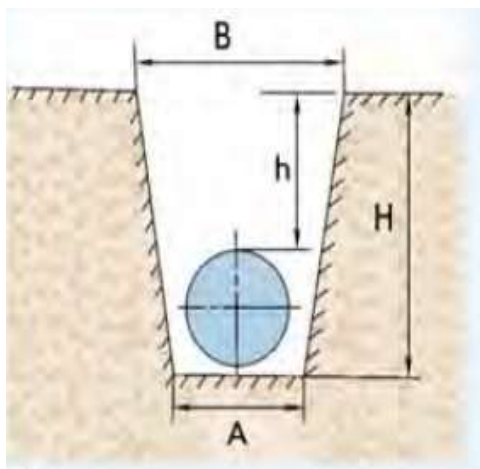
Recomendaciones

Se debe tener en cuenta que el suelo se pueda rellenar suficientemente hasta el área debajo de las tuberías para el futuro relleno. Más espacio de la zanja debe mantenerse en las juntas de tubería para poder operar fácilmente

Usando un cepillo de alambre y un trapo limpio, limpie cuidadosamente el interior del enchufe particularmente los recesos de junta. En particular, eliminar los depósitos de tierra, arena, etc, también limpiar el grifo de la tubería de ser articulado y la junta misma, obtener el borde liso

A continuación se muestra una tabla estandarizada para las dimensiones de la zanja.

Figura 3.28: TABLA ESTANDARIZADA PARA LAS DIMENSIONES



D (mm)	A (m)	B (m)	h (m)	H (m)
75	0.50	0.76	1.20	1.29
100	0.50	0.76	1.20	1.32
150	0.50	0.76	1.20	1.37
200	0.60	0.88	1.20	1.42
250	0.60	0.89	1.20	1.47
300	0.60	0.90	1.20	1.52
350	0.70	1.01	1.20	1.57
400	0.80	1.15	1.30	1.73
500	1.10	1.47	1.30	1.83
600	1.30	1.73	1.50	2.13
700	1.50	1.95	1.50	2.23
800	1.70	2.17	1.50	2.34
900	1.90	2.39	1.50	2.44

Fuente: (Saint-Gobain PAM, 2016)

3.4.9.3 Prueba hidráulica

El ingeniero consultor o empresa de servicios públicos deberá indicar la presión de prueba en las especificaciones. Se recomienda que esta sea por lo menos 1.5 veces la presión de trabajo indicada a la elevación más baja de la sección de prueba durante un

lapso de dos horas. La tubería deberá llenarse lentamente y se deberá tener cuidado de tener respiraderos en todos los puntos altos a fin de expulsar todo el aire.

Tabla 3-15: PRESIONES DE PRUEBA HIDROSTÁTICA

Diámetro nominal DN	Prueba de presión				Hermeticidad de fugas presión de los accesorios y de las tuberías con bridas fundidas
	Tubos de fundición centrífuga con juntas flexibles	Tuberías con bridas atornilladas o soldadas			
		PN10 Brida	PN16 Brida	PN25 Brida	
MM	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar
80-300	50	16	25	32	25
350-600	40	16	25	32*	16
700-800	32	16	25	32	10
900-1200	32	16	25	-	10
1400-1600	25	-	-	-	-

Fuente: (Saint-Gobain PAM, 2016)

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO - ECONÓMICO

4.1 Ventajas y desventajas de las tuberías en estudio

A continuación se presenta una tabla resumen de las ventajas y desventajas que presentan los 3 tipos de tuberías que fueron analizadas.

Tabla 4-1: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TUBERÍAS PVC, PRFV Y FFD

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MATERIALES			
CARACTERÍSTICA	FFD	PVC	PRFV
Resistencia a la corrosión	Muy buena resistencia a la corrosión	Muy resistente a los productos corrosivos y al ataque químico.	Materiales resistentes a la corrosión
Resistencia a la carga exterior	Buena resistencia a carga exterior	Puede perforarse fácilmente	Pueden sufrir rotura o fracturas durante las fases de manipulación o instalación
Peso	Elevado peso en comparación a la tuberías plásticas	Por su ligereza, el almacenamiento y transporte de la tubería se facilita notablemente.	Bajo peso (1/4 del peso del hierro dúctil) Menor costo de transporte (anidable).
Pérdida de carga por fricción	Mayor pérdida de carga por fricción debido a su rugosidad absoluta interior	Mínima pérdida de carga por fricción	Baja pérdida por fricción significa menor energía de bombeo y menores costos operacionales.
Reciclaje	Es totalmente reciclable es decir reutilizable al 100%	No son tóxicos, son inodoros e insaboros y pueden ser fácilmente recicladas	Dificultad de reciclaje
Presiones internas	Capacidad de resistir altas presiones > 400 mca	Limita la presión máxima a 160 mca	Presiones disponibles desde 10 - 320 mca
Temperatura	Debido a su fundición dúctil, no se ve afectada por el cambio de temperatura.	Puede sufrir alteraciones con altas temperaturas (>50° C)	35° C o menores no se requieren degradación de presión para la tubería.

Revestimiento interno	Requiere revestimiento interior y exterior	No es necesario ningún tipo de tratamiento interno ni recubrimiento.	No necesitan revestimiento, recubrimientos o envolturas
Influencia de los rayos ultravioleta	Pueden exponerse superficialmente a los rayos ultravioleta sin sufrir alteraciones	Las propiedades mecánicas del PVC se afectan si quedan expuestas a los rayos solares por un período prolongado.	Alta resistencia a los rayos ultravioleta

Fuente: Propia

Como se puede observar en la Tabla 4-1 cada tubería presenta características distintas, para cada condición de servicio que esta requiera.

En la Tabla 4-2 se detallan otras características importantes que es necesario conocer de las 3 tuberías en estudio.

Tabla 4-2: COMPARATIVA DE TUBERÍAS

	PVC	PRFV	FFD
Longitud Nominal	6 (m)	14 (m)	4 - 6 (m)
Diámetro Nominal	(1/2 - 12) plg	(300-3000) mm	(40-2600) mm
Presiones (m.c.a)	60,90,120,150	10,60,100,160 200,250, 320	400,600,800,1000
Sistema de Unión	<ul style="list-style-type: none"> ● Espiga campana ● Con un anillo de goma ● Unión roscada 	<ul style="list-style-type: none"> ● Con bridas ● Con anillo elastomérico ● Con manguitos ● Autotrabada 	<ul style="list-style-type: none"> ● Espiga y campana ● Con bridas
Métodos de instalación	<ul style="list-style-type: none"> ● Enterrada en zanja 	<ul style="list-style-type: none"> ● Enterrada en zanja ● Sin Zanja (Intemperie) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Enterrada en zanja ● Sin Zanja (Intemperie)
Vida útil	50*	50*	100*

*Valores de vida útil asumidos según experiencia y catálogos revisados

Fuente: Propia

4.2 Análisis hidráulico

Para realizar el análisis hidráulico, se tomaron en cuenta las rugosidades de los tres tipos de materiales, que son: PVC, FFD y PRFV, la Tabla 4-3 nos muestra las

diferentes rugosidades para los distintos materiales, de diferentes autores y referencias, además del valor que se asumió para realizar el cálculo hidráulico:

Tabla 4-3: VALORES DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "K"

Material	Coeficiente de rugosidad k (mm)					
	NB 689	Azevedo Netto	Linsley & Franzini	Robert Mott	Manual	Valor Asumido
PVC	0.010	0.100	0.120	0.0003	0,0015	0,0015
PRFV	-	-	-	liso	0.0290	0.0290
FFD	0.500	0.125	0.200	0.120	0.1000	0.1000

Fuente: Propia

El cálculo hidráulico se refiere a determinar las pérdidas de carga que se producen en los 3 tipos de tubería asumiendo un caudal de 334 l/s (Caudal que será utilizado en la aplicación práctica y que fue proporcionado por la oficina técnica de Cosaalt, ver *Anexo VIII*), utilizando la fórmula de Darcy-Weisbach.

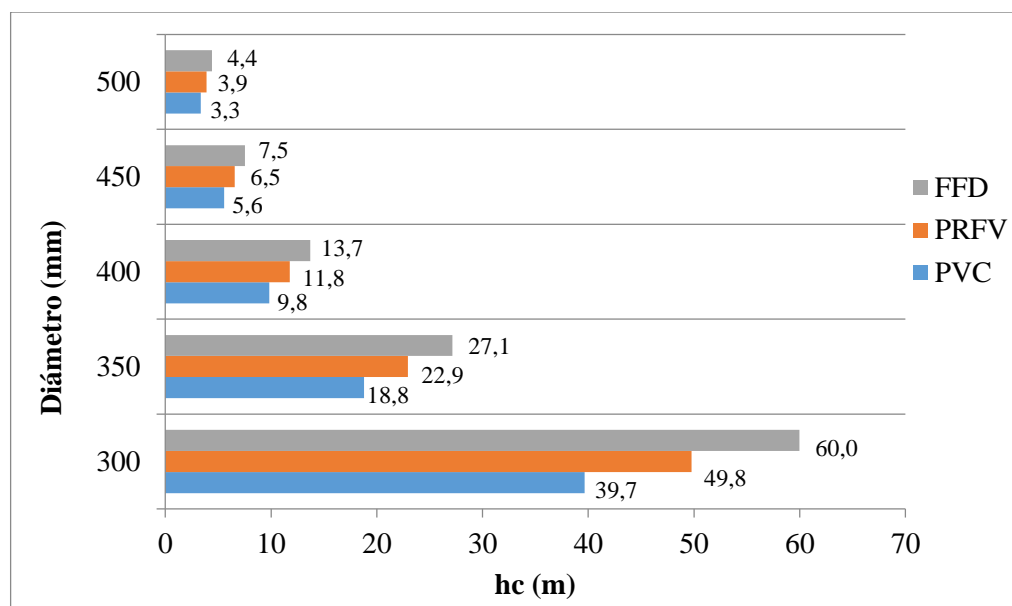
Para poder interpretar mejor los resultados, los cálculos se realizaron para una longitud de 1000 m., los resultados se adjuntan en la Tabla 4-4 y Figura 4.1

Tabla 4-4: PERDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN (m)

Caudal lts/seg	Perdidas de Carga por fricción [m]											
	PVC				PRFV				FFD			
	f	D mm	vel m/s	hc 100 m	f	D mm	vel m/s	hc 100 m	f	D mm	vel m/s	hc 100 m
334	0.01132	305	4.6	40	0.01312	300	4.7	49.8	0.01581	300	4.7	60
334	0.01158	356	3.4	19	0.01307	350	3.5	22.9	0.01547	350	3.5	27
334	0.01183	406	2.6	10	0.01307	400	2.7	11.8	0.01522	400	2.7	14
334	0.01206	457	2	6	0.01311	450	2.1	6.5	0.01505	450	2.1	8
334	0.01227	508	1.6	3	0.01317	500	1.7	3.9	0.01492	500	1.7	4

Fuente: Propia

Figura 4.1: PÉRDIDA DE CARGA PARA 1000 m



Fuente: Propia

De los resultados obtenidos, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Debido a la rugosidad, es la tubería PVC es la que tiene menor pérdida de carga, seguida de la PRFV y FFD respectivamente.
- A un diámetro menor las pérdidas de carga y la diferencia entre una y otra tubería van aumentando, expresado en porcentaje de la siguiente manera

Tabla 4-5: DIFERENCIA EN % DE PERDIDA DE CARGA

D (mm)	PVC hc (m)	PRFV %	FFD %
300	39.7	26	51
350	18.8	22	45
400	9.8	20	39
450	5.6	18	35
500	3.3	16	32

Fuente: Propia

Considerando que las condiciones topográficas son las mismas, es decir la energía para un trazo de aducción, se determinó su equivalencia en longitud en función de la tubería

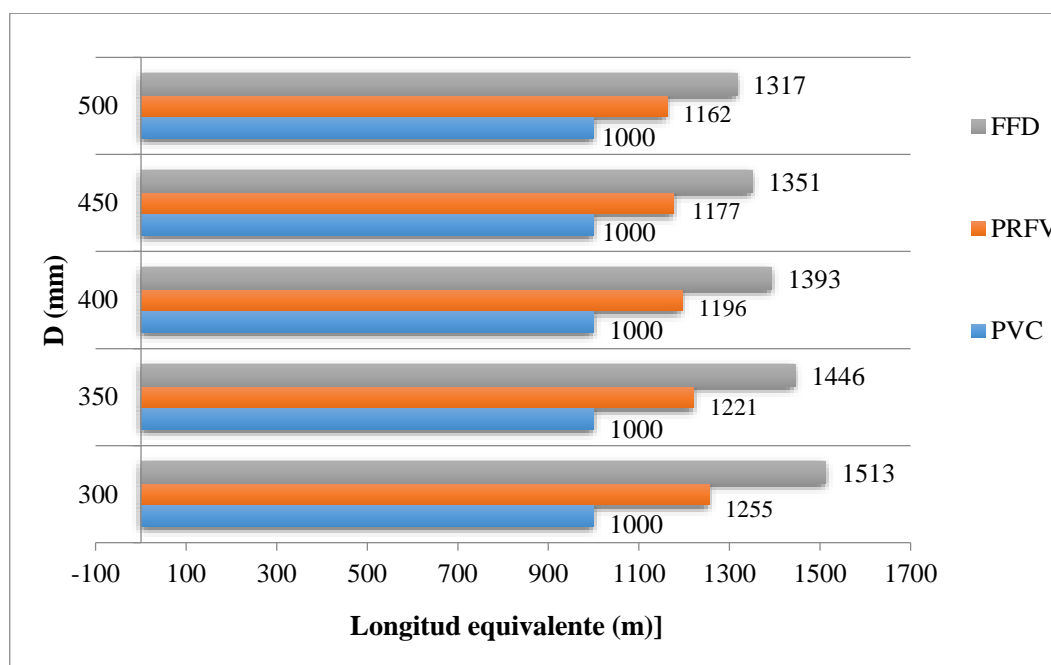
PVC, para un tramo de 1000 m., comparando el diámetro para un caudal constante de 334 l/s.

Tabla 4-6: EQUIVALENCIA EN LONGITUD

Equivalencia en longitud / 1000 m					
D (mm)	PVC	PRFV	%	FFD	%
300	1000	1255	25.5	1513	51.3
350	1000	1221	22.1	1446	44.6
400	1000	1196	19.6	1393	39.3
450	1000	1177	17.7	1351	35.1
500	1000	1162	16.2	1317	31.7

Fuente: Propia

Figura 4.2: LONGITUD EQUIVALENTE



Fuente: Propia

Asimismo, se consideró otro parámetro comparativo como es el caudal que puede transportar cada tipo de tubería, considerando la pérdida de carga equivalente y/o igual a la de la tubería PVC y manteniendo el parámetro f de cada material en función del diámetro.

$$hc = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g} \rightarrow hc = f * \frac{L}{D} * \frac{Q^2}{A^2 * 2 * g} \rightarrow hc = f * \frac{L}{D} * \frac{Q^2}{2g * (\frac{\pi}{4} * D^2)^2}$$

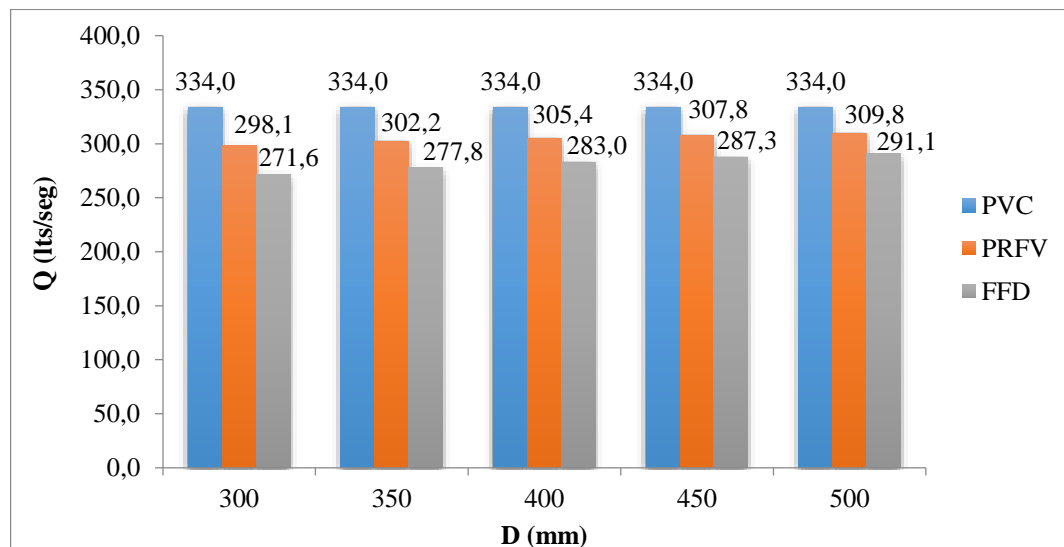
$$hc = \frac{f}{12.1026} * \frac{L}{D^5} * Q^2 \rightarrow Q = \left[\frac{12.1026 * hc * D^5}{f * L} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Tabla 4-7: CAUDAL EQUIVALENTE (l/s)

Equivalencia en caudal/ 334 [lts/seg]					
D (mm)	PVC	PRFV	%	FFD	%
300	334.0	298.1	-10.7	271.6	-18.7
350	334.0	302.2	-9.5	277.8	-16.8
400	334.0	305.4	-8.6	283.0	-15.3
450	334.0	307.8	-7.8	287.3	-14.0
500	334.0	309.8	-7.2	291.1	-12.9

Fuente: Propia

Figura 4.3: CAUDAL EQUIVALENTE



Fuente: Propia

Como se puede observar la tubería FFD es la que menos caudal puede transportar, existiendo un porcentaje hasta del 18.7 % para un diámetro de 300 mm, es decir una diferencia del caudal de 62.4 l/s.

4.3 Análisis económico

Para realizar el análisis económico, se consideró fundamentalmente el costo por ml de tubería puesto en zanja, asimismo se analizaron diferentes parámetros que nos permitieron realizar un mejor análisis, los que a continuación se describen.

4.3.1 Análisis de costos de tubería

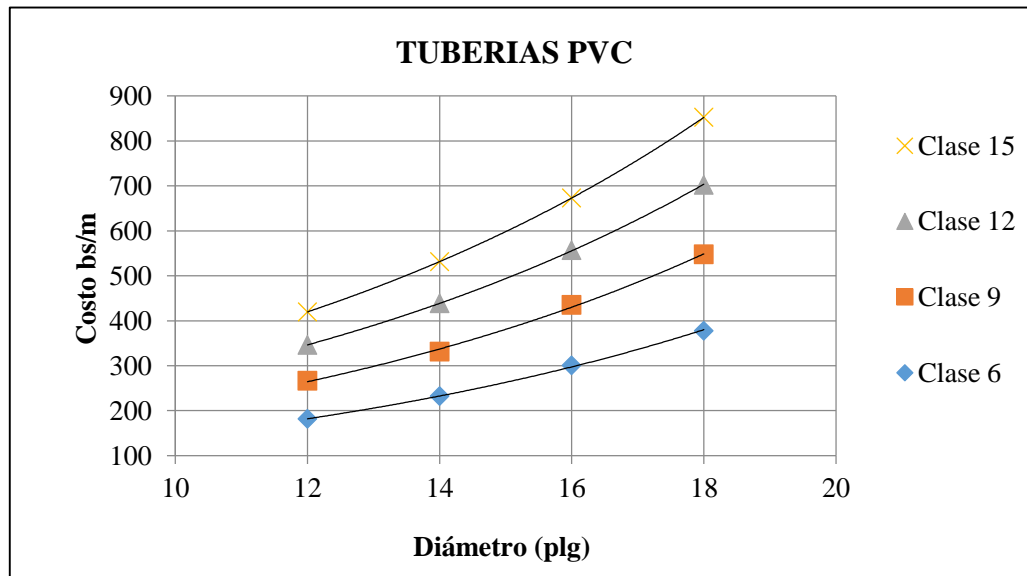
Para el presente análisis, se procedió a la cotización de las tuberías en análisis tomando en cuenta la presión interna de trabajo y el diámetro nominal (*Ver Anexo VII*), es de hacer notar que las tuberías de PVC (*Ver Anexo I*) y de PRFV (*Ver Anexo II*) presentan características técnicas similares, en cambio la tubería de FFD (*Ver Anexo III*), se caracteriza su presión de trabajo a partir de la k-9, lo que significa que estas tuberías se fabrican a partir de presiones de 400 m.c.a.

Tabla 4-8: COSTO DE TUBERÍA PVC

Tubería	Diámetro Plg.	Presión kg/cm2	Longitud m	Costo bs/pza	Costo bs/m
PVC	12	6	6	1480	182
	14		6	1386	232
	16		6	1802	300
	18		6	2267	378
	12	9	6	1599	267
	14		6	1986	331
	16		6	2612	435
	18		6	3286	548
	12	12	6	2076	346
	14		6	2633	439
	16		6	3343	557
	18		6	4214	702
	12	15	6	2519	420
	14		6	3188	531
	16		6	4040	673
	18		6	5114	852

Fuente: Propia

Figura 4.4: COSTO TUBERÍA PVC



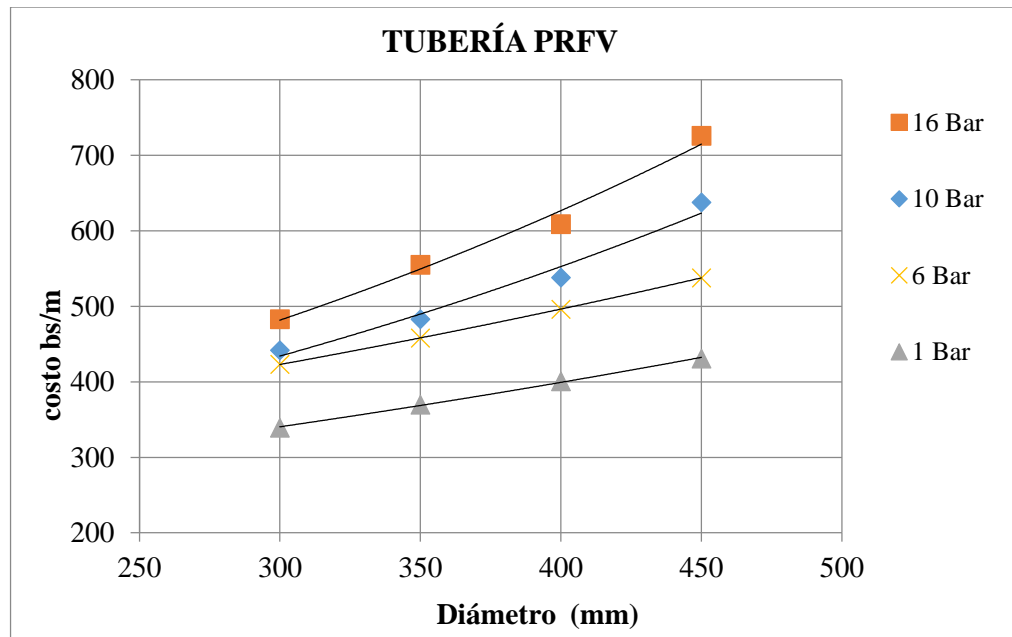
Fuente: Propia

Tabla 4-9: COSTO DE TUBERÍA PRFV

Tubería	Diámetro (mm)	Presión Bar	Longitud m	Costo u\$/m	Costo Bs/m
PRFV	300	1	14	49	339
	350		14	53	370
	400		14	58	401
	450		14	62	431
	300	6	14	61	423
	350		14	66	458
	400		14	71	496
	450		14	77	538
	300	10	14	64	442
	350		14	69	483
	400		14	77	538
	450		14	92	638
	300	16	14	69	483
	350		14	80	555
	400		14	88	609
	450		14	104	726

Fuente: Propia

Figura 4.5: COSTO TUBERÍA PRFV



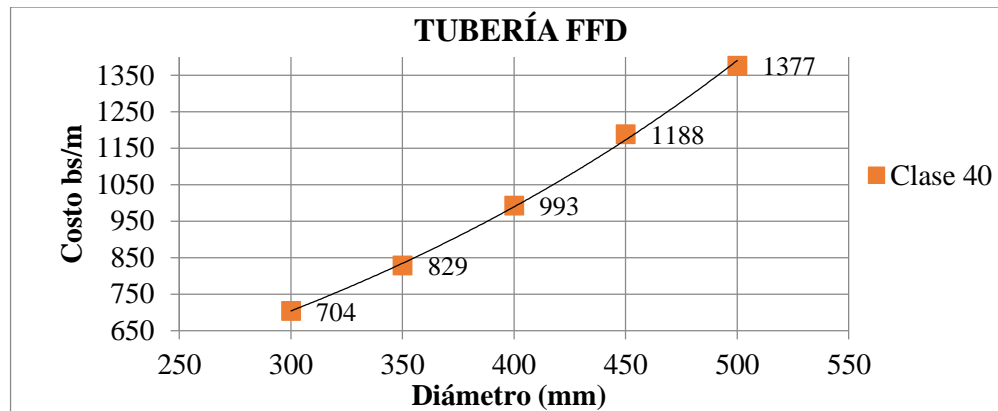
Fuente: Propia

Tabla 4-10: COSTO DE TUBERÍA FFD

Tubería	Diámetro (mm)	Presión kg/cm ²	Longitud (m)	Costo u\$/m	Costo Bs/m
FFD K=9	300	40	6	101	704
	350		6	119	829
	400		6	143	993
	450		6	171	1188
	500		6	198	1377

Fuente: Propia

Figura 4.6: COSTO TUBERÍA FFD



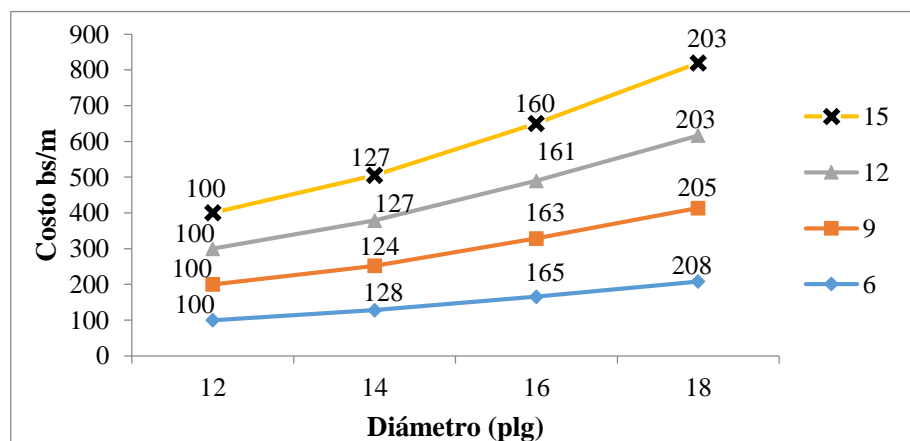
Fuente: Propia

De los cuadros y gráficos anteriores se puede notar lo siguiente de los 3 tipos de tuberías:

- A mayor diámetro, mayor costo de la tubería por metro lineal
- Mientras mayor es la presión interna que resiste el tubo, es decir la clase, mayor es el costo.

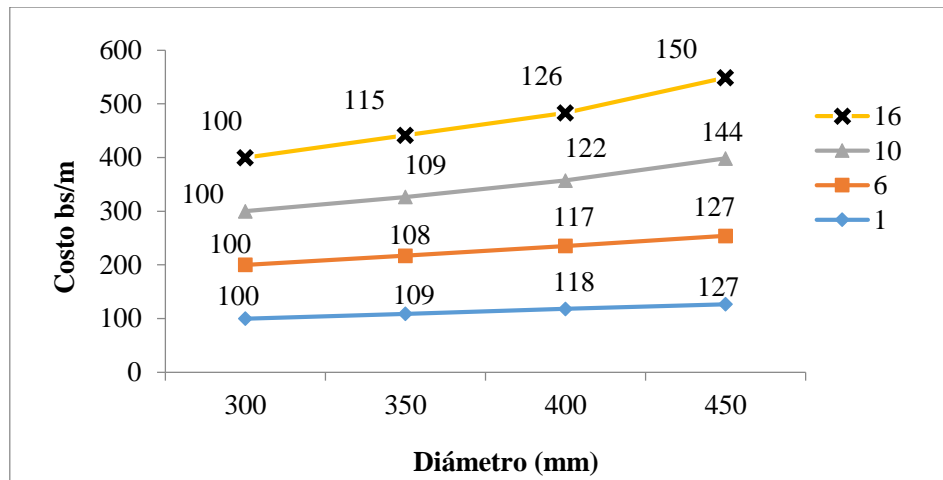
A continuación en las siguientes graficas se muestra el incremento en % de costo de tubería por clase para las tuberías PVC y PRFV, y para la tubería FFD el incremento por diámetro.

Figura 4.7: INCREMENTO POR CLASE (%) TUBERÍA PVC



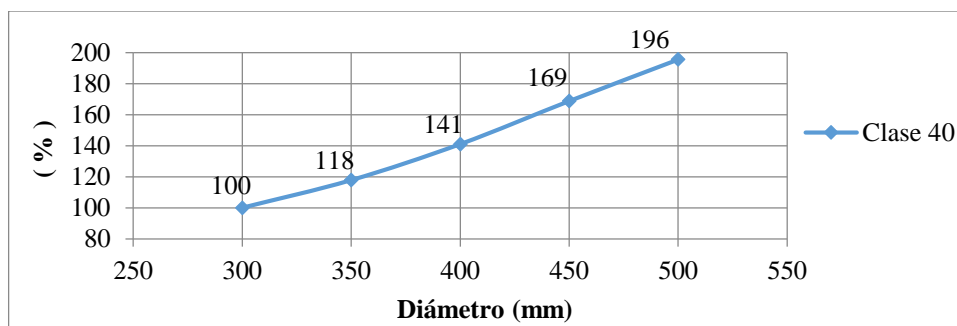
Fuente: Propia

Figura 4.8: INCREMENTO POR CLASE (%) TUBERÍA PRFV



Fuente: Propia

Figura 4.9: INCREMENTO POR DIÁMETRO (%) TUBERÍA FFD



Fuente: Propia

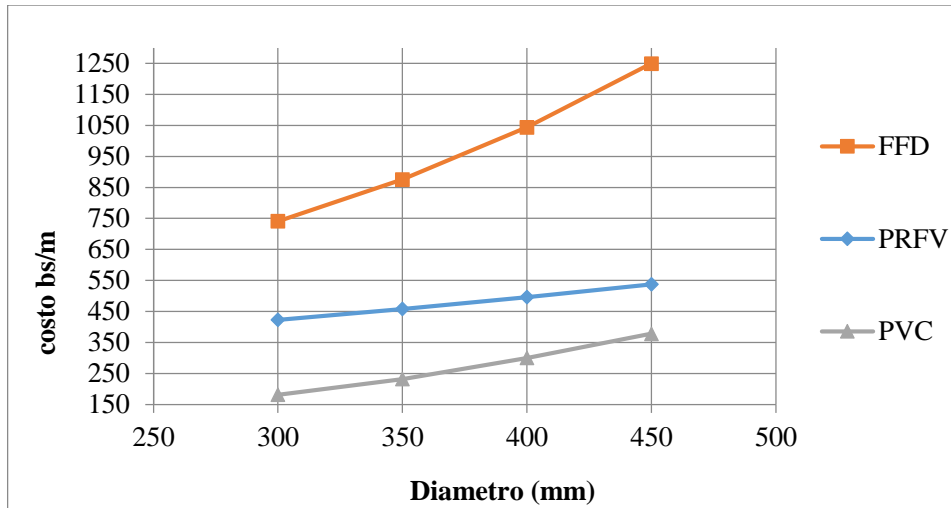
Una vez expuesto el costo de cada tubería de manera individual, se muestra las gráficas comparando el costo bs/m de los 3 tipos para 3 clases diferentes:

Tabla 4-11: COSTO TUBERÍA CLASE 6

PVC			PRFV			FFD		
D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)
300	60	182	300	60	423	300	400	741
350		232	350		458	350		876
400		300	400		496	400		1044
450		378	450		538	450		1249

Fuente: Propia

Figura 4.10: COSTO TUBERÍA CLASE 6



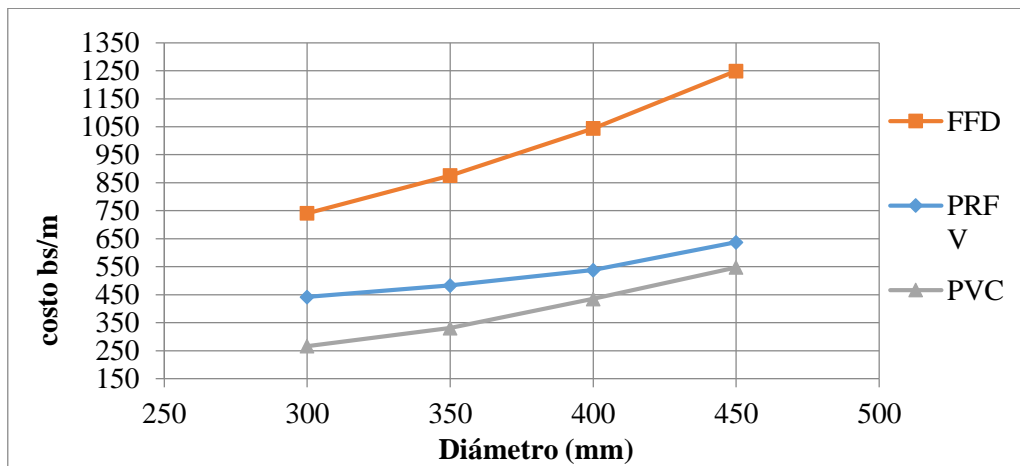
Fuente: Propia

Tabla 4-12: COSTO TUBERÍA CLASE 9

PVC			PRFV			FFD		
D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)
300	90	267	300	90	442	300	400	741
350		331	350		483	350		876
400		435	400		538	400		1044
450		548	450		638	450		1249

Fuente: Propia

Figura 4.11: COSTO TUBERÍA CLASE 9



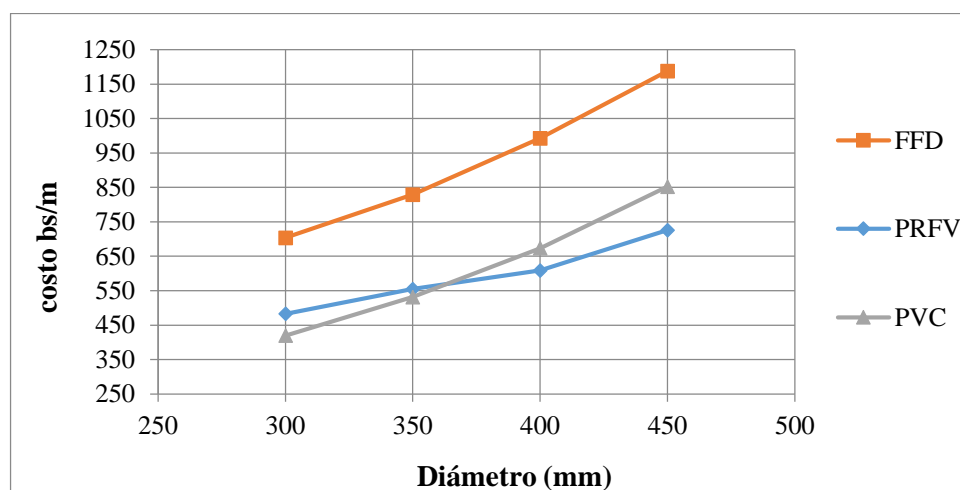
Fuente: Propia

Tabla 4-13: COSTO TUBERÍA CLASE 15

PVC			PRFV			FFD		
D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)
300	150	420	300	160	483	300	400	704
350		531	350		555	350		829
400		673	400		609	400		993
450		852	450		726	450		1188

Fuente: Propia

Figura 4.12: COSTO TUBERÍA CLASE 15



Fuente: Propia

De las tablas y gráficos anteriores, se observa lo siguiente:

- La tubería más económica en función del diámetro y de su presión de trabajo es la PVC hasta los 350 mm
- Desde los 400 mm resulta más económica la tubería PRFV
- Cabe notar que para la tubería FFD el costo se repite ya que se tiene una sola clase (400 m.c.a), resultando en los 3 casos la más alta en costo bs/m

4.3.2 Análisis de costos en función de la tubería y su sistema de unión

Para este análisis se le añadió al costo de la tubería el costo de los materiales necesarios para la unión de cada tipo de tubería. Se muestra además el porcentaje incrementado al costo del tubo.

Tabla 4-14: COSTO DE TUBERÍA + UNIÓN (PVC)

D plg	Presión kg/cm2	Tubería	%	Tubería + unión	%	Total
12	15	419.76	95	21.07	5	440.83
	12	345.93	95	17.38	5	363.31
	9	266.56	95	13.41	5	279.97
	6	182.00	95	9.18	5	191.18
14	15	531.00	95	26.65	5	557.65
	12	439.00	95	22.05	5	461.05
	9	331.00	95	16.65	5	347.65
	6	232.00	95	11.70	5	243.70
16	15	673.32	95	33.80	5	707.11
	12	557.12	95	27.99	5	585.10
	9	435.00	95	21.88	5	456.88
	6	300.00	95	15.13	5	315.13
18	15	852.00	95	42.76	5	894.76
	12	702.26	95	35.28	5	737.53
	9	547.68	95	27.55	5	575.23
	6	377.81	95	19.05	5	396.87

Fuente: Propia

Tabla 4-15: COSTO DE TUBERÍA + UNIÓN (PRFV)

D (mm)	Presión kg/cm2	tubería	%	tubería + unión	%	Total
300	16	483.02	87	69.41	13	552.44
	10	441.96	88	62.49	12	504.45
	6	422.98	88	59.41	12	482.39
350	16	538.00	87	77.72	13	615.72
	10	483.02	88	67.42	12	550.45
	6	458.11	88	62.95	12	521.06
	1	369.58	88	51.21	12	420.79
400	16	609.00	88	86.16	12	695.16
	10	538.00	88	74.70	12	612.70
	6	496.25	88	67.64	12	563.89
450	16	725.93	88	100.25	12	826.18
	10	637.54	88	87.08	12	724.62
	6	537.71	88	71.49	12	609.20
	1	430.80	88	58.11	12	488.91

Fuente: Propia

Tabla 4-16: COSTO DE TUBERÍA + UNIÓN (FFD)

Presión kg/cm ²	D (mm)	Tubería	%	Tubería + unión	%	Total
40	300	703.70	95	37.50	5	741.20
	350	829.14	95	46.49	5	875.63
	400	992.64	95	51.09	5	1043.72
	450	1188.07	95	61.08	5	1249.16
	500	1376.69	95	72.19	5	1448.88

Fuente: Propia

De las tablas anteriores (Tabla 4-14, Tabla 4-15 y Tabla 4-16) se puede notar lo siguiente: Para la tubería PVC y FFD, el sistema de unión significa el 5% del costo, en el caso de la tubería PRFV el costo de unión varía del 13 y 12 %

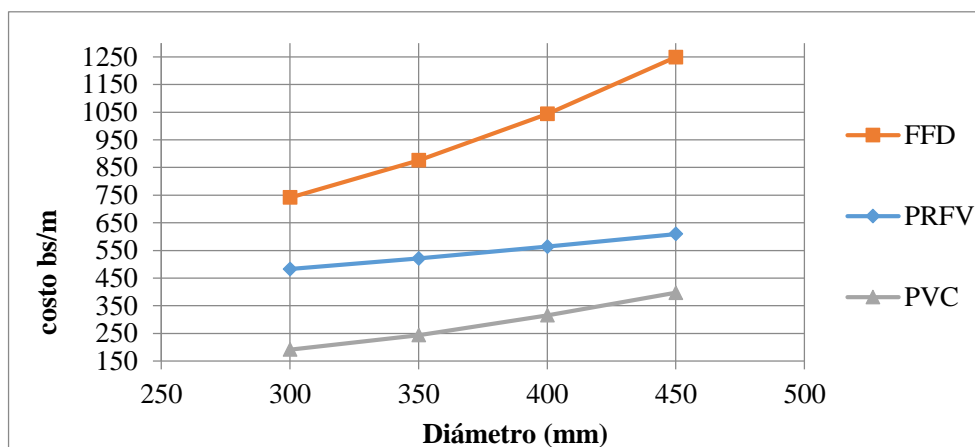
Se muestra además las gráficas comparativas de los 3 tipos de tuberías para 3 clases diferentes

Tabla 4-17: COSTO DE TUBERÍA + UNIÓN CLASE 6

PVC			PRFV			FFD		
D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)
300	60	191	300	60	482	300	400	741
350		244	350		521	350		876
400		315	400		564	400		1044
450		397	450		609	450		1249

Fuente: Propia

Figura 4.13: COMPARACIÓN DE TUBERÍA + UNIÓN (CLASE 6)



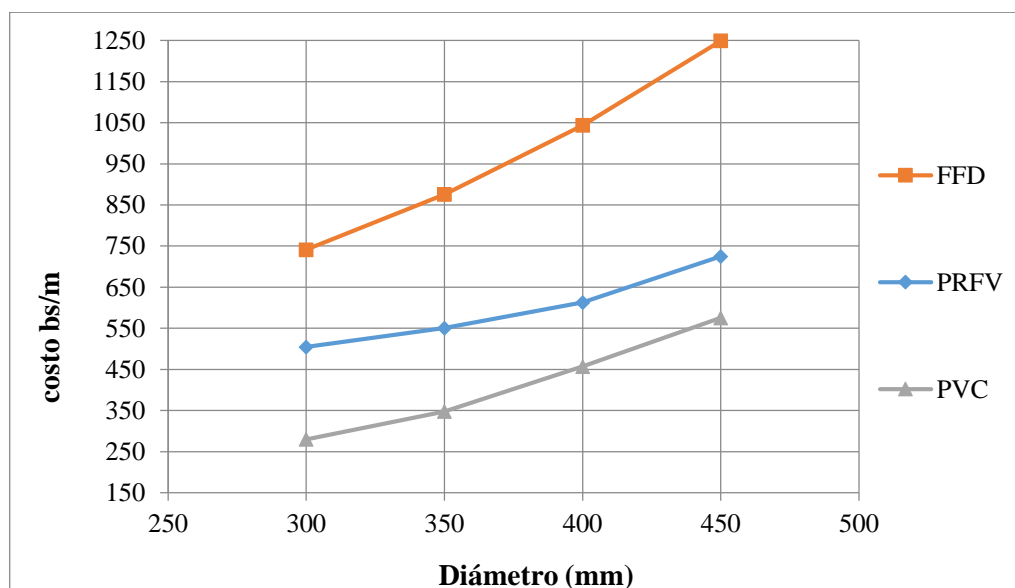
Fuente: Propia

Tabla 4-18: COSTO DE TUBERÍAS + UNIÓN (CLASE 9)

PVC			PRFV			FFD		
D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)
300	90	280	300	90	504	300	400	741
350		348	350		550	350		876
400		457	400		613	400		1044
450		575	450		725	450		1249

Fuente: Propia

Figura 4.14: COMPARACIÓN DE TUBERÍA + UNIÓN (CLASE 9)



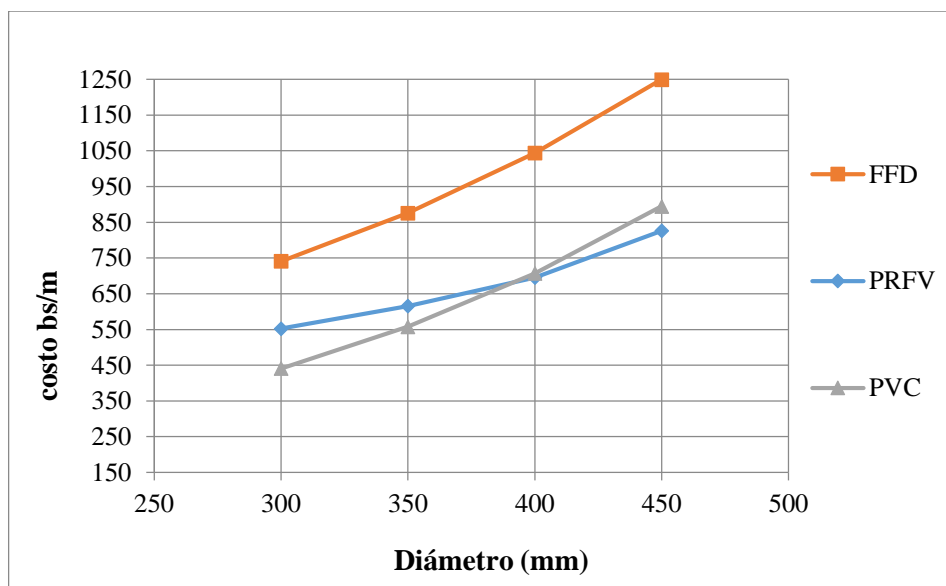
Fuente: Propia

Tabla 4-19: COSTO DE TUBERÍAS + UNIÓN (CLASE 15)

PVC			PRFV			FFD		
D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)
300	150	441	300	160	552	300	400	741
350		558	350		616	350		876
400		707	400		695	400		1044
450		895	450		826	450		1249

Fuente: Propia

Figura 4.15: COMPARACIÓN DE TUBERÍA + UNIÓN (CLASE 15)



Fuente: Propia

4.3.3 Análisis económico de tubería puesta en zanja

Para este análisis se tomó en cuenta el costo total de materiales y mano de obra para la instalación de los 3 tipos de tuberías.

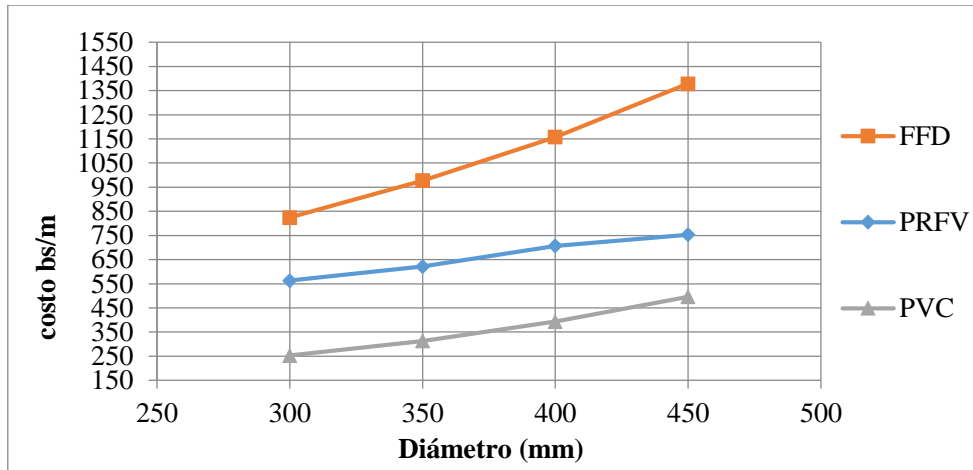
Una vez realizado todo el análisis se muestran las gráficas comparativas finales de las 3 tuberías instaladas.

Tabla 4-20: COMPARACIÓN DE TUBERÍA INSTALADA (CLASE 6)

PVC			PRFV			FFD		
D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)
300	60	253	300	60	563	300	400	824
350		313	350		622	350		978
400		393	400		707	400		1158
450		496	450		753	450		1378

Fuente: Propia

Figura 4.16: COMPARACIÓN DE TUBERÍA INSTALADA (CLASE 6)



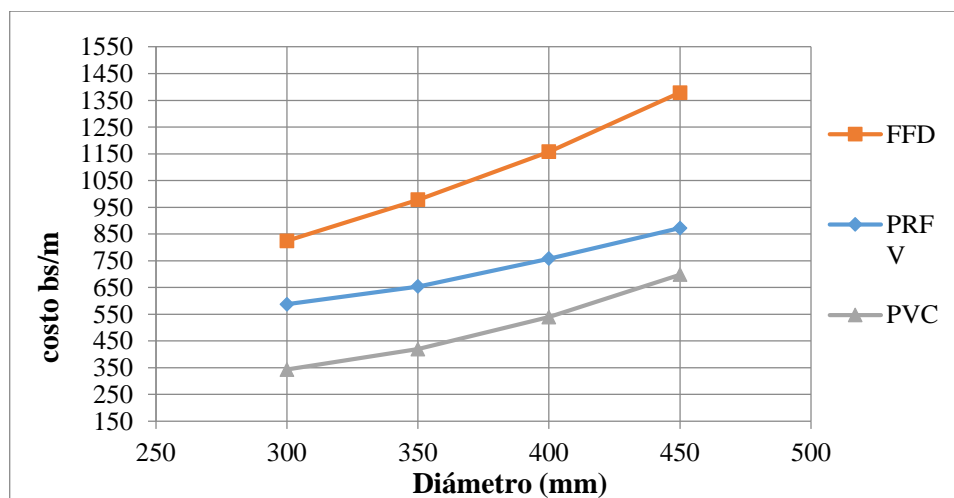
Fuente: Propia

Tabla 4-21: COMPARACIÓN DE TUBERÍA INSTALADA (CLASE 9)

PVC			PRFV			FFD		
D plg	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D plg	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D plg	Presión m.c.a	Costo (bs/m)
300	90	343	300	90	587	300	400	824
350		419	350		654	350		978
400		539	400		757	400		1158
450		698	450		872	450		1378

Fuente: Propia

Figura 4.17: COMPARACIÓN DE TUBERÍA INSTALADA (CLASE 9)



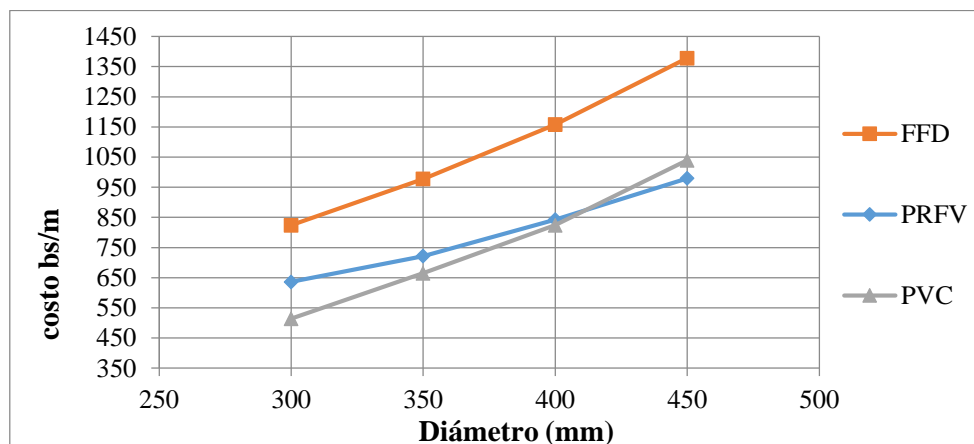
Fuente: Propia

Tabla 4-22: COMPARACIÓN DE TUBERÍA INSTALADA (CLASE 15)

PVC			PRFV			FFD		
D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)	D (mm)	Presión m.c.a	Costo (bs/m)
300	150	514	300	160	636	300	400	824
350		665	350		722	350		978
400		824	400		843	400		1158
450		1040	450		980	450		1378

Fuente: Propia

Figura 4.18: COMPARACIÓN DE TUBERÍA INSTALADA (CLASE 15)



Fuente: Propia

4.3.4 Comparación de volúmenes de zanja para tuberías PVC y PRFV.

Para cada tubería se realizó un análisis del emplazamiento, esto se muestra en los Anexos I y II.

a) Comparación de volumen de excavación.

Tabla 4-23: VOLUMEN DE EXCAVACIÓN

DN m	Longitud m	Vol. (m3)	
		PRFV	PVC
0.3	100	72.19	92.81
0.35	100	88.05	106.02
0.40	100	105.00	120.00
0.45	100	123.05	134.77
0.50	100	142.19	150.31

Fuente: Propia

b) Comparación de volumen de cama de asiento.

Tabla 4-24: VOLUMEN DE CAMA DE ASIENTO

DN m	Longitud m	Vol (m3)	
		PRFV	PVC
0.3	100	3.94	5.06
0.35	100	5.36	6.45
0.40	100	7.00	8.00
0.45	100	8.86	9.70
0.50	100	10.94	11.56

Fuente: Propia

c) Comparación de volumen de relleno cernido

Tabla 4-25: VOLUMEN DE RELLENO CERNIDO

DN m	Longitud m	Vol (m3)	
		PRFV	PVC
0.3	100	23.63	23.31
0.35	100	32.16	27.25
0.40	100	42.00	31.43
0.45	100	53.16	35.85
0.50	100	65.63	40.49

Fuente: Propia

d) Comparación de volumen de relleno compactado.

Tabla 4-26: VOLUMEN DE RELLENO COMPACTADO

DN m	Longitud m	Vol (m3)	
		PRFV	PVC
0.3	100	37.56	57.38
0.35	100	40.91	62.69
0.40	100	43.43	68.00
0.45	100	45.13	73.31
0.50	100	45.99	78.63

Fuente: Propia

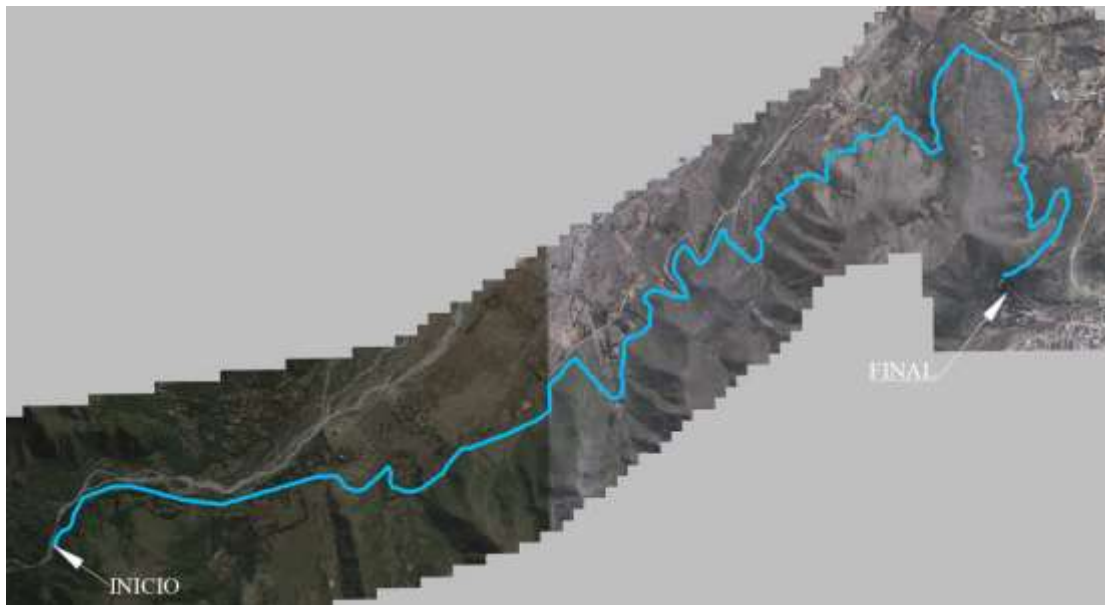
Solo se hizo la comparación para las dos tuberías (PVC y PRFV) ya que la tubería de FFD será colocada superficialmente debido a las características de instalación que presenta. Siendo mayor el volumen para la tubería PVC para todos los diámetros.

CAPÍTULO V. APLICACIÓN PRÁCTICA: LÍNEA DE ADUCCIÓN

5.1 Ubicación

El área de aplicación se encuentra dentro del departamento de Tarija, en el Municipio de Tarija de la provincia Cercado sector aducción existente en la comunidad de La Vitoria. Tiene unos 1980 m.s.n.m. como altitud promedio.

Figura 5.1: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE ADUCCIÓN



Fuente: Elaboración propia

5.2 Componentes del sistema del agua potable Tarija

Actualmente, la principal fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Tarija es el río La Vitoria, en la cual existen en total tres obras de toma. Las obras de captaciones directas son dos: una de ellas mediante un vertedero lateral que conduce a un canal gravitacional (presa de derivación), y la otra una toma directa ubicada a 800 m aguas abajo de la presa derivadora. Una tercera toma de tipo sub superficial, consiste en una galería filtrante ubicada a 800 m aguas abajo de la toma directa. En la Tabla

5-1 se detallan las características principales del sistema de abastecimiento de agua potable, cuya fuente es el río La Vitoria.

Tabla 5-1: SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Componente	Sistema de Agua Potable
Fuente	<p>1) Caudales: – Caudal máximo de 334 l/s, mínimo 90 l/s, promedio 230 l/s</p> <p>2) Obras de captación: a 12km al oeste de la ciudad, a una altura de 2200 msnm Toma 1: Presa de derivación Rincón de la Vitoria del año 1989 Toma 2: Toma directa, a 800 m aguas abajo de la presa de derivación Toma 3: Galería Filtrante del año 1939, a 1.600m aguas abajo de la presa de derivación</p> <p>3) Aducción: Desde la presa de derivación en el río La Vitoria hasta el desarenador, y luego a la planta de tratamiento de Tabladita, con una longitud total de aproximadamente 13 km., mediante un canal de mampostería de piedra con tramos de tubería de fierro fundido.</p>
Tratamiento	<p>El agua es tratada en la Planta de Tratamiento de La Tabladita construida el año 1990, con los siguientes procesos:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Floculación b) Sedimentación c) Filtración d) Cloración
Almacenamiento	<p>En tanques de almacenamiento ubicados en los predios de la planta potabilizadora, para su posterior distribución directa a la red.</p>
Distribución	<p>Red de agua domiciliaria Tarija a través de medidores de consumo administrado por COSAALT.</p>

Fuente: COSAALT

5.3 Aspectos institucionales

COSAALT provee agua para ciudad de Tarija que cumple con los requisitos de la Norma Boliviana (NB) de agua para consumo humano.

Tabla 5-2: MARCO PARA EL SUMINISTRO DE AGUA



Fuente: COSAALT

5.4 Canal de la aducción

El agua captada en la aducción fluye por gravedad mediante un canal cubierto con un desnivel aproximado de 284 m hasta la planta de la Tabladita (ver Fotografía 5-1.)

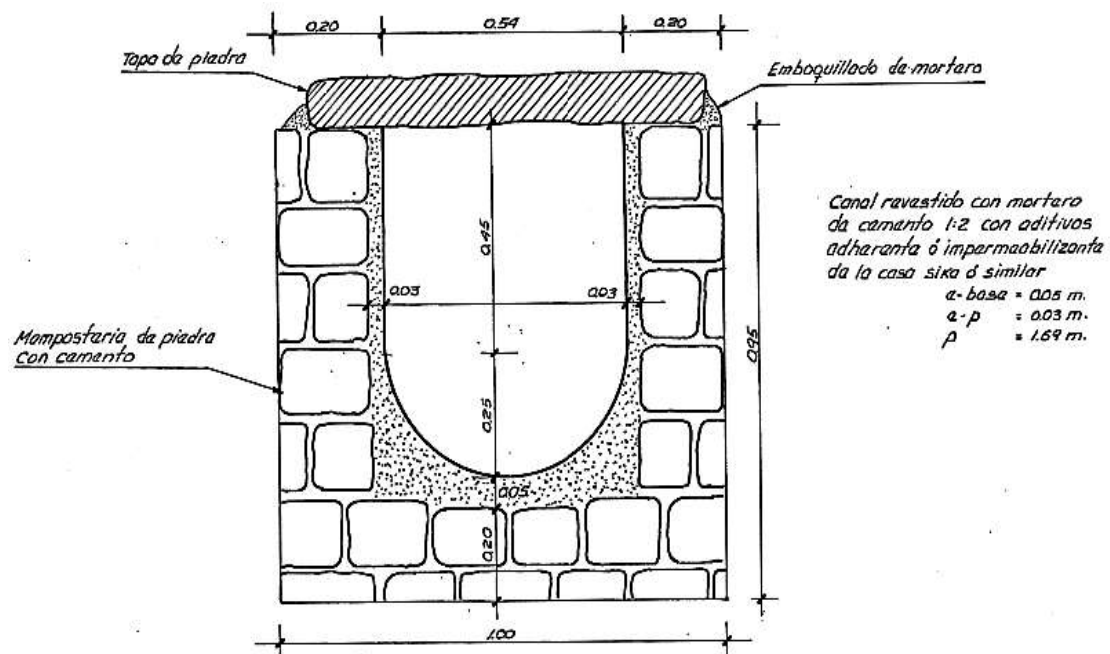
La sección del canal es semicircular en la base, compuesto de mampostería de piedra, con paredes laterales verticales, revestidas con mortero de cemento con espesor que varía de 3 cm a 5 cm. El ancho de la sección del canal es de 0.50 m hasta 0.75 m, y la pendiente de fondo es muy variable en toda su longitud existiendo valores que van desde 0.10% hasta 0.26% en algunos tramos cortos. Ver Fotografía 5-2.

Fotografía 5-1: CANAL DE LA VICTORIA



Fuente: Propia

Figura 5.2: CORTE TRANSVERSAL DEL CANAL

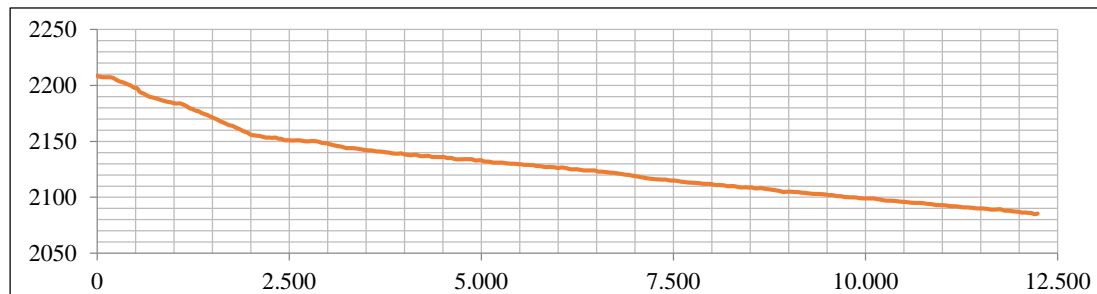


Fuente: (ICE, 1985)

5.5 Tramo en estudio

La aplicación práctica será en un tramo de la aducción rincón de la Victoria (toma directa– cámara desarenadora, en Tablada Alta), con una longitud total de 12258.73 m, con un desnivel de 123.58 m

Figura 5.3: PERFIL LONGITUDINAL



Fuente: Propia

5.6 Diagnóstico de la línea de aducción

5.6.1 Diagnóstico referencial

- (Diario Andaluz, 2016) La principal reserva de agua potable que abastece el consumo de la ciudad de Tarija en la comunidad del Rincón de la Victoria está secándose. Las pocas lluvias que hubo en la zona no logran compensar el déficit del líquido elemento que debe llegar a los diferentes barrios de la capital.

El caudal que debe generar al menos 500 litros segundo de forma constante, al momento solo está generando entre 160 a 180 litros para abastecer el consumo humano de los barrios de Tarija. El resto está siendo cubierto por los pozos de perforación que se realizaron en diferentes zonas de la ciudad.

El presidente del Consejo de Administración de Cosaalt indicó que las proyecciones para poder generar agua y evitar la situación que están atravesando en otros departamentos, consisten en construir un nuevo ducto de plástico que permitirá llevar el agua bajo otro sistemas, dejando de lado al antiguo que aún sigue funcionando hace más de 50 años. *“Queremos transportar el agua mediante nuevos trabajos y penosamente no se hicieron*

inversiones, solamente nosotros transportamos el agua y brindamos el servicio y con seguridad con esta visita se hará trabajos de construcción y protección. Además aumentaremos personal para el cuidado y solamente tenemos aquí un sereno y un operador, apoyados con miembros del Sernap (Servicio Nacional de Áreas Protegidas)”, manifestó.

- (Molina , 2016) El canal presenta pérdidas en algunos puntos de su trayectoria, esto se debe a conexiones erradas y también pérdidas por infiltración debido a fisuras en las paredes y la base del canal, en la cuantificación de la pérdida que se hizo se pudo ver que hay una pérdida del 13% en total, no se pudo realizar un estudio más minucioso debido a la dificultad para determinar las pérdidas por conexiones erradas, pero se vio que el porcentaje mayor se debe a las conexiones que la gente hace del canal.

Fotografía 5-2: CANAL DEL RINCÓN DE LA VICTORIA DESTROZADO



Fuente: (ELPAÍS, 2017)

5.6.2 Diagnostico actual

El sistema inicial se empezó a construir en el año 1937, por la Administración Regional de Obras Sanitarias (AROS), posteriormente se realizó una reparación por UNEPRAT (Unidad Ejecutora de Proyecto de Agua y Alcantarillado Sanitario de la ciudad de Tarija) en el año 1986 hasta 1990. El mismo que actualmente se encuentra en funcionamiento.

Es decir que actualmente tiene 80 años desde que se construyó y 32 años desde su última reparación.

Según (NB 689, 2004) nos dice que el periodo de diseño para una población mayor a 20000 habitantes es de 30 años.

TABLA 5-3: PERIODO DE DISEÑO (AÑOS)

Componente del sistema	Población menor a 20 000 habitantes	Población mayor a 20 000 habitantes
Obra de captación	10 – 20	30
Aducción	20	30
Pozos profundos	10	15 - 20
Estaciones de bombeo	20	30
Plantas de tratamiento	15 - 20	20 - 30
Tanques de almacenamiento	20	20 - 30
Redes de distribución	20	30

Fuente: (NB 689, 2004)

Todo esto nos indica que la vida útil de gran parte del sistema de aducción actual ya caducó y las deficiencias que presenta la infraestructura hidráulica es visible, como por ejemplo las perdidas por infiltración. Ver Fotografía 5-3

Fotografía 5-3: PÉRDIDA DE AGUA POR INFILTRACIÓN



Fuente: (Molina , 2016)

5.6.3 Problemas sociales

El Rincón de la Vitoria es una de las comunidades más cercanas que tiene Tarija por la cual atraviesa la principal aducción de agua potable para la ciudad, sin embargo, se tiene serios conflictos con esta comunidad al momento de plantear la construcción de un nuevo sistema de aducción. Una nueva infraestructura modifica el espacio donde se desarrollan las actividades económicas y las formas de vida, en consecuencia, afectan también al marco de vida y los hábitos de la sociedad. Con ello se inicia un proceso de transformación más o menos dinámica, pero siempre irreversible.

Desde el punto de vista social, la construcción de infraestructuras supone diferentes repercusiones, ya que modificando el espacio que contiene las actividades económicas y las formas de vida, no sólo se afecta a la morfología territorial, sino también, y profundamente, a la sociedad: provoca o acelera la mutación de las estructuras.

Así pues, en el diseño de la infraestructura, los factores territoriales y socioeconómicos son muy importantes ya que sus repercusiones se extenderán en el tiempo y en el territorio lo que conlleva a desechar la posibilidad de la construcción de un nuevo trazo, es decir tenemos que ver las alternativas que se tiene para poder construir un nuevo sistema conservando el trazo actual del canal.

5.7 Cálculo hidráulico

Se realizara del diseño de la línea de aducción mediante la combinación de diámetros, tiene la ventaja de optimizar las pérdidas de carga, conseguir presiones dentro de los rangos admisibles y disminuir los costos del proyecto.

Para realizar el diseño hidráulico usó el método de Hazen y Williams para la optimización de diámetros aprovechando al máximo el desnivel, es decir, haciendo

$$J = DH$$

La aplicación de la ecuación de Williams y Hazen $J = \alpha * L * Q^n$

Permitirá obtener la combinación de diámetros expresándolo en la forma siguiente:

$$J = \Delta H = \alpha_1 * X * Q^n + \alpha_2 * (L' - X) * Q^n$$

Donde

$$X = \frac{\Delta H - \alpha_2 * L' * Q^n}{Q^n * (\alpha_1 - \alpha_2)}$$

Siendo:

α_1 : el coeficiente correspondiente a un \varnothing_1

α_2 : el coeficiente correspondiente a un \varnothing_2

X: Distancia correspondiente al diámetro \varnothing_1 (m)

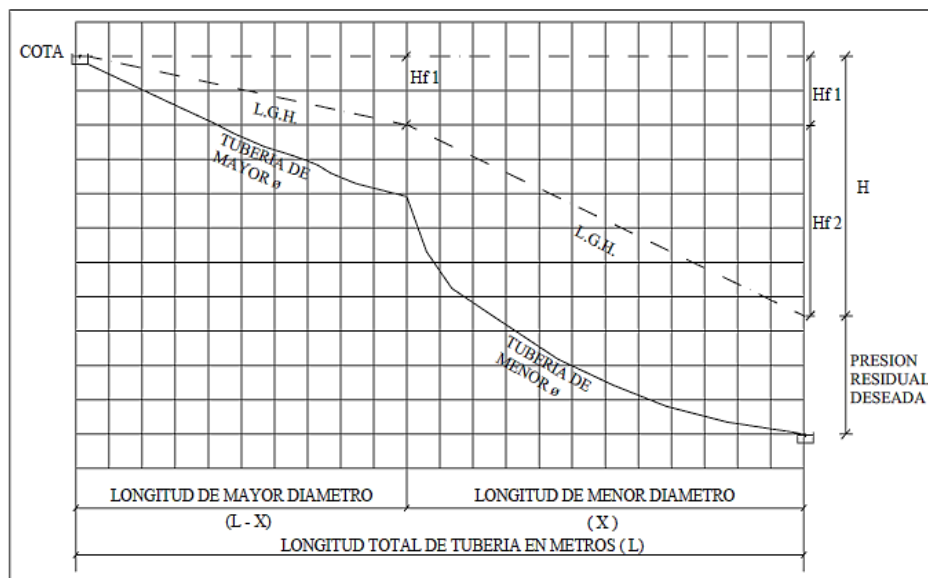
Q: Gasto de diseño (l/s)

DH: Diferencia de elevación entre los 2 puntos

J: Perdida de carga en m

L= Longitud afectada en un 5 % para estimar perdidas por turbulencia.

Figura 5.4: PERFIL DE LA COMBINACIÓN DE TUBERÍAS



Fuente: (OPS/CEPIS, 2004)

La forma general de la ecuación de Darcy-Weisbach será utilizada para el cálculo de pérdida por fricción

$$h_c = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

5.8 Alternativas de diseño

ALTERNATIVA 1: Colocar la tubería de manera paralela al actual canal, para un caudal de diseño $Q=343(l/s)$.

El diseño hidráulico (*Ver Anexo IV*), se lo realizara con un caudal de 334 l/s, buscando los diámetros óptimos de cada tipo de material, del cual se tienen los siguientes resultados para los tres tipos de tuberías en estudio.

TABLA 5-4: DISEÑO TUBERÍA PVC

PVC			
Diámetro (plg)	Clase	Velocidad (m/s)	Longitud (m)
18"	C-12	2,0	800
18"	C-9	2,0	2400
18"	C-6	2,0	1920
16"	C-15	2,6	4459
16"	C-12	2,6	2680

Fuente: Propia

TABLA 5-5: DISEÑO TUBERÍA PRFV

PRFV			
Diámetro (mm)	Clase	Velocidad (m/s)	Longitud (m)
450	10 Bar	2,1	2280
450	6 Bar	2,1	3800
450	1 Bar	2,1	1440
400	16 Bar	2,7	400
400	10 Bar	2,7	4339

Fuente: Propia

TABLA 5-6: DISEÑO TUBERÍA FFD

FFD

Diámetro (mm)	Clase	Velocidad (m/s)	Longitud (m)
450	K=9	2.1	11200
400	K=9	2,7	1059

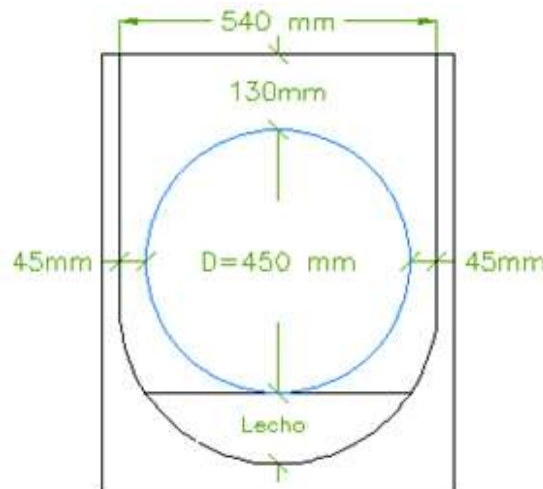
Fuente: Propia

Una vez realizado el cálculo hidráulico se procedió a verificar la instalación de las tuberías PVC y PRFV por dentro del canal como se muestra en la Figura 5.5. Esto nos indica que esta alternativa no es posible debido a las dimensiones que limitan el tamaño de la tubería de $D=450$ mm. Esto implica además que el diámetro máximo que puede ser colocado por dentro del canal será ≤ 400 mm.

Entonces llegamos a la conclusión que:

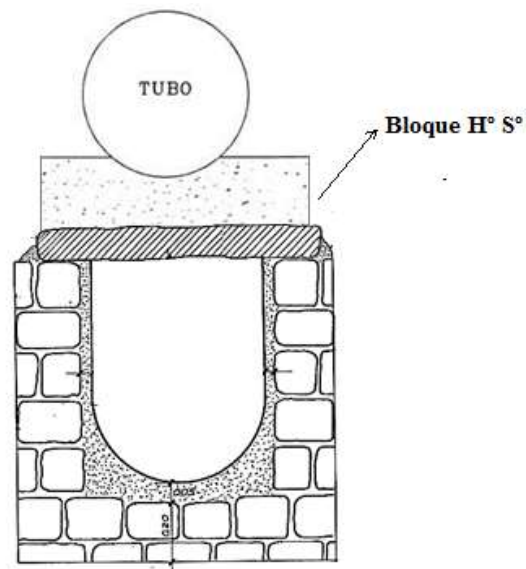
Esta alternativa será viable si la colocamos en una zanja paralela al canal, en el caso de las tuberías PVC y PRFV y para la tubería FFD se la colocara por encima del canal apoyado en bloques de anclaje y protegida con pintura anticorrosiva como se muestra en la Figura 5.6.

Figura 5.5: TUBERÍA POR DENTRO DEL CANAL 450 mm



Fuente: propia

Figura 5.6: TUBERÍA FFD POR ENCIMA DEL CANAL 450 mm

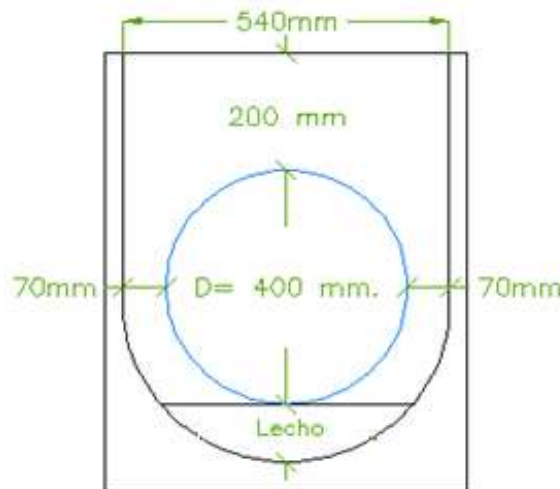


Fuente: propia

ALTERNATIVA 2.- Con el máximo caudal que se puede transportar para $D=400$ mm

Para esta alternativa se va a buscar el caudal máximo que podría llevar una tubería que pueda ser colocada por dentro del canal, es decir el máximo diámetro que entre en el canal bajo condiciones de norma. (Ver Anexo IV)

Figura 5.7: TUBERÍA POR DENTRO DEL CANAL 400 mm



Fuente: propia

Se muestran a continuación los resultados:

TABLA 5-7: CAUDAL MÁXIMO PARA $D = 400 \text{ MM}$

Material	diámetro	Qmax (l/s)
PVC	400 mm	300
PRFV	400 mm	280
FFD	400 mm	254

Fuente: propia

Para esta alternativa, solo se realizó el cálculo hidráulico para las tuberías PVC y PRFV, ya que para la tubería FFD en las 3 alternativas de diseño se consideró colocarla por encima del canal.

Se puede observar que a pesar de ser el mismo diámetro los caudales son distintos, esto debido principalmente a la diferencia de rugosidades que cada material presenta.

La tubería que transporta mayor caudal es la tubería de PVC.

ALTERNATIVA 3.- Llevar la tubería paralela al canal con el caudal restante

Esta alternativa consiste en realizar el diseño hidráulico de la siguiente manera:

- Para una tubería PVC.- se colocara una tubería por dentro del canal de $D= 400 \text{ mm}$ y que llevara el caudal de 302 l/s mencionado en la anterior alternativa y con el caudal restante, es decir la diferencia entre el caudal de la obra de toma (334 l/s) y el caudal que se lleva con los 400 mm por dentro del canal se realizara el diseño hidráulico proponiendo llevar éste en una zanja paralela al canal.
- En el caso de la tubería PRFV nos limita el diámetro mínimo, entonces primero se calculara el caudal que puede llevar con un diámetro de 300 mm (esta tubería será colocada en una zanja paralela al canal) y con el caudal restante se calcularan los diámetros que irán por dentro del canal.
- Para la tubería FFD no se realiza esta alternativa.

Se muestran a continuación los resultados. Ver los cálculos en Anexo IV

TABLA 5-8: CAUDAL Y DIÁMETRO ALTERNATIVA 2

Material	Por dentro del canal		Tubería en zanja	
	diámetro	Q1 (l/s)	diámetro	Q1 (l/s)
PVC	16"	300	8" 6"	34
PRFV	400 mm 350 mm	203	300 mm	131

Fuente: propia

ALTERNATIVA 4.- Considerando solamente la tubería PVC de clase C-6 y C-9 en todo el tramo de estudio

Mediante este método se utilizara un diseño en todo el tramo tubería PVC C-6 y otro diseño con PVC C-9 y C-6 por considerar que las mismas son las más económicas. Para tal efecto se deberán implementar cámaras rompe presión de acuerdo a la topografía y cumpliendo los parámetros hidráulicos de buen funcionamiento, como ser: La velocidad mínima, velocidad remendable, la velocidad máxima y las presiones mínimas de llegadas a depósitos (NB 689).

Los cálculos y el diseño hidráulico se encuentran en el *Anexo X*.

TABLA 5-9: DISEÑO TUBERÍA PVC CLASE 6

PVC			
Diámetro (plg)	Clase	Velocidad (m/s)	Longitud (m)
20"	C-6	1,6	4640
18"	C-6	2,0	5899
14"	C-6	3,4	1720

Fuente: Propia

TABLA 5-10: DISEÑO TUBERÍA PVC

PVC			
Diámetro (plg)	Clase	Velocidad (m/s)	Longitud (m)
18"	C-9	2,0	4139
18"	C-6	2,0	6400
14"	C-6	3,4	1720

Fuente: Propia

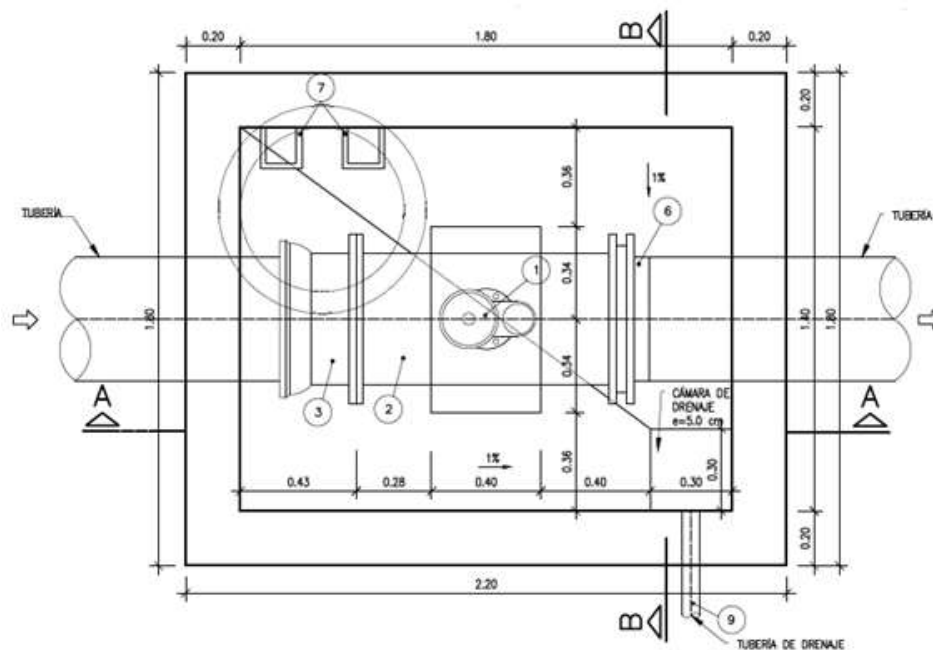
5.9 Criterios de buen funcionamiento

5.9.1 Válvulas Ventosas

El aire acumulado en los puntos altos provoca la reducción del área del flujo del agua, produciendo un aumento de pérdida de carga y una disminución del gasto. Para evitar esta acumulación es necesario instalar válvulas de aire automáticas (ventosas) o manuales (Figura 5.8)

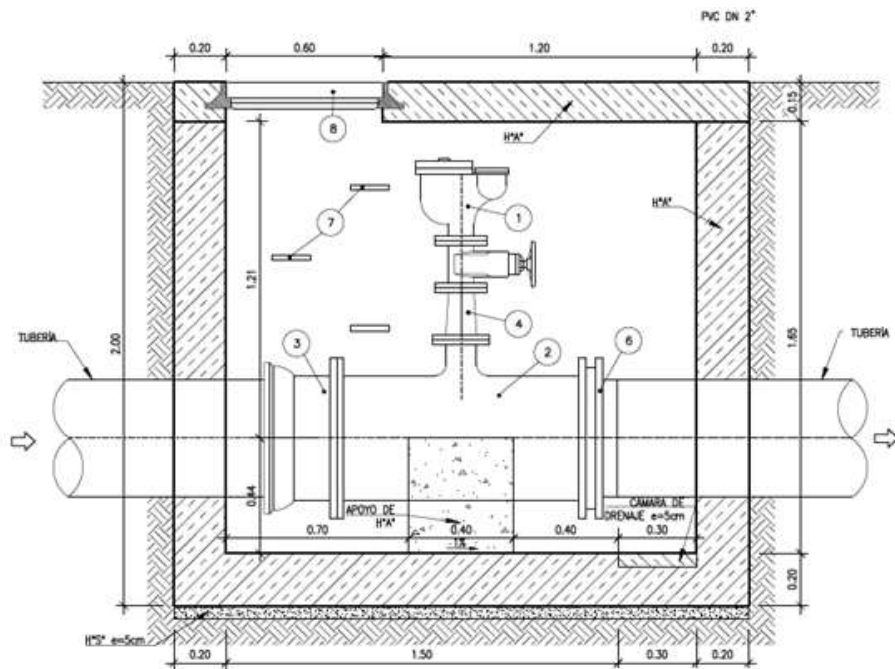
Es conveniente el uso de ventosas en los puntos altos del trazado y cada 500 m aprox. en los tramos de pendiente uniforme y pequeña.

Figura 5.8: VÁLVULAS VENTOSAS



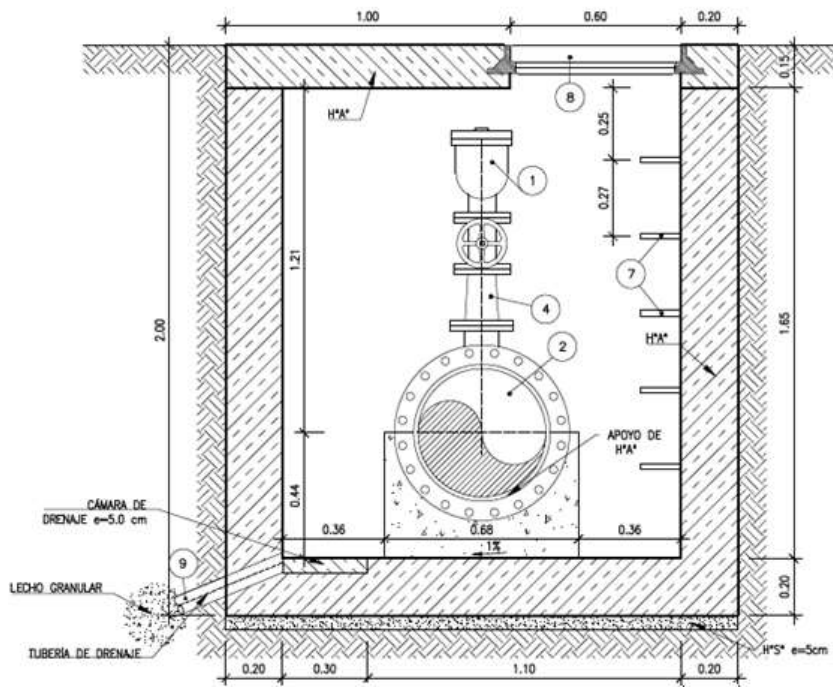
Fuente: (EMAGUA, 2017)

Figura 5.9: VÁLVULAS VENTOSAS SECCIÓN A-A



Fuente: (EMAGUA, 2017)

Figura 5.10: VÁLVULAS VENTOSAS SECCIÓN B-B



Fuente: (EMAGUA, 2017)

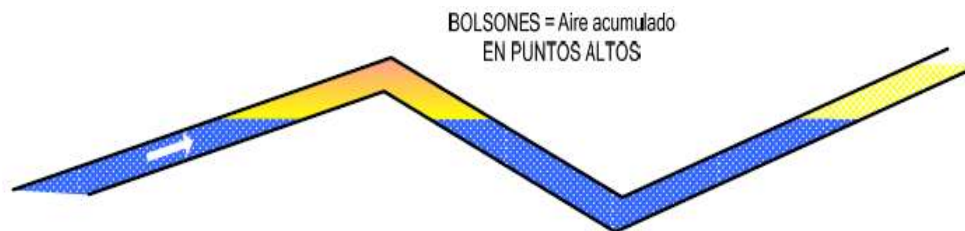
TABLA 5 7: COMPONENTES DE LA VÁLVULA VENTOSA

N°	Descripción	Unidad
1	Válvula de admisión/ expulsión de aire FFD. Brida/brida	pza
2	Tee brida/brida	pza
3	Adaptador brida campana	pza
4	Reducción Brida/brida	pza
5	Válvula tipo compuerta (serie corta) brida/brida	pza
6	Tubería Brida/ Espiga	pza
7	Peldaños de DN 5/8" acero corrugado	pza
8	Tapa con orificios de 20 mm	pza
9	Tubería de drenaje PVC	m

Fuente: propia

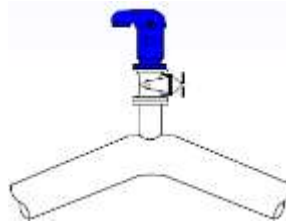
Problemas que trae la presencia de aire en las conducciones

- Lo primero que debemos recordar es que a diferencia del agua, el aire es capaz de ser comprimido. O sea, al aumentar la presión, el mismo disminuye su volumen.
- El aire puede ser el desencadenante de ondas de presión y golpes de ariete.
- Otro efecto indeseable del aire en las conducciones es la acumulación en los puntos altos en forma de bolsones. Los bolsones de aire generan importantes inconvenientes especialmente en las conducciones “planas”, con escasa pendiente o en conducciones de baja velocidad, donde el flujo del agua no es capaz de “arrastrar” el aire.

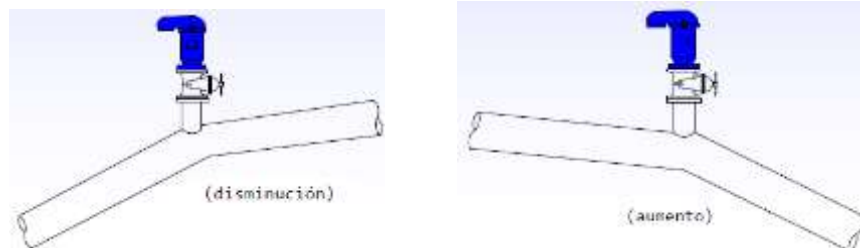


Donde ubicar las válvulas de aire:

- **En puntos altos intermedios.-** Si existen 2 picos altos intermedios cercanos, se deberá seleccionar el más elevado.



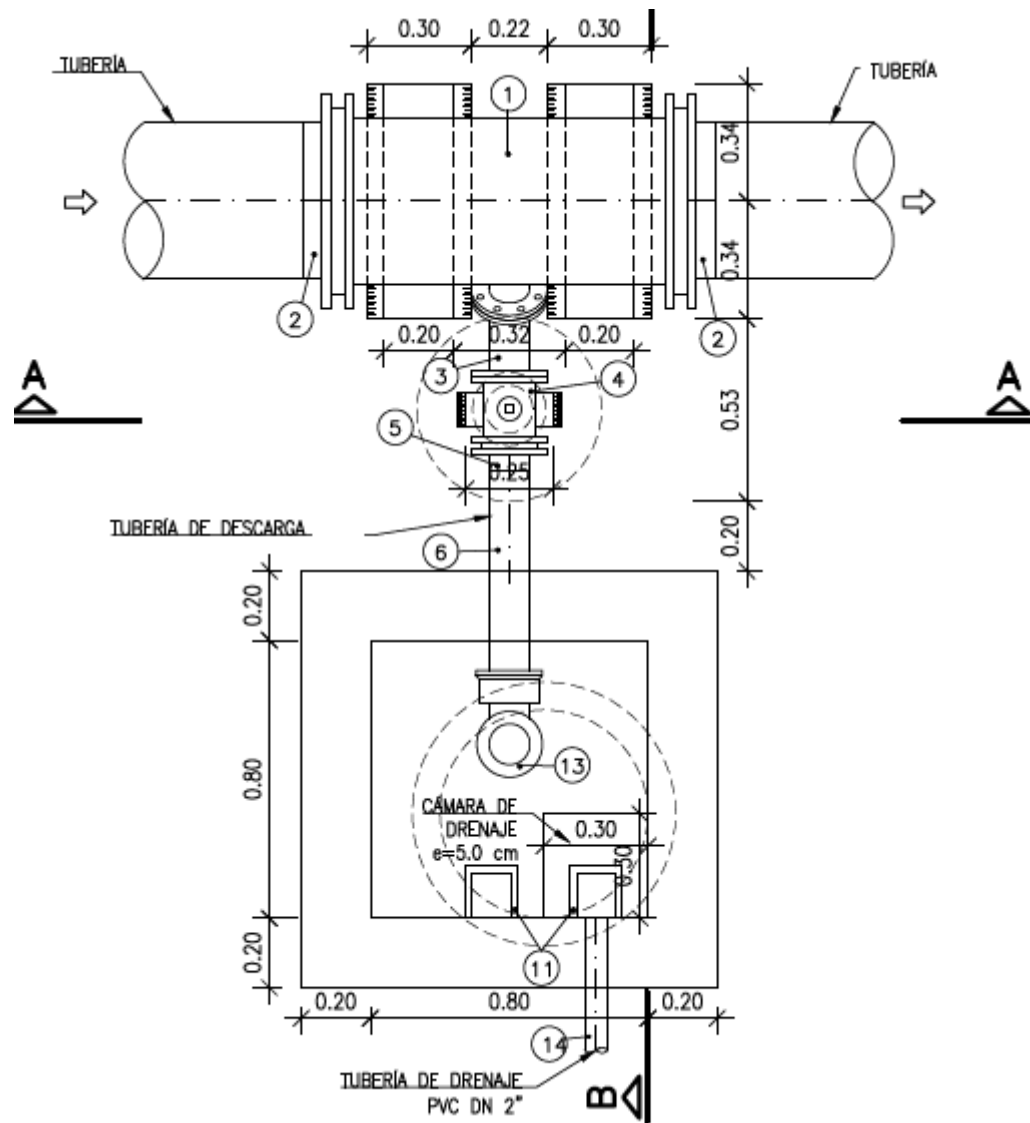
- **Variación de la pendiente.**



5.9.2 Válvulas de purga

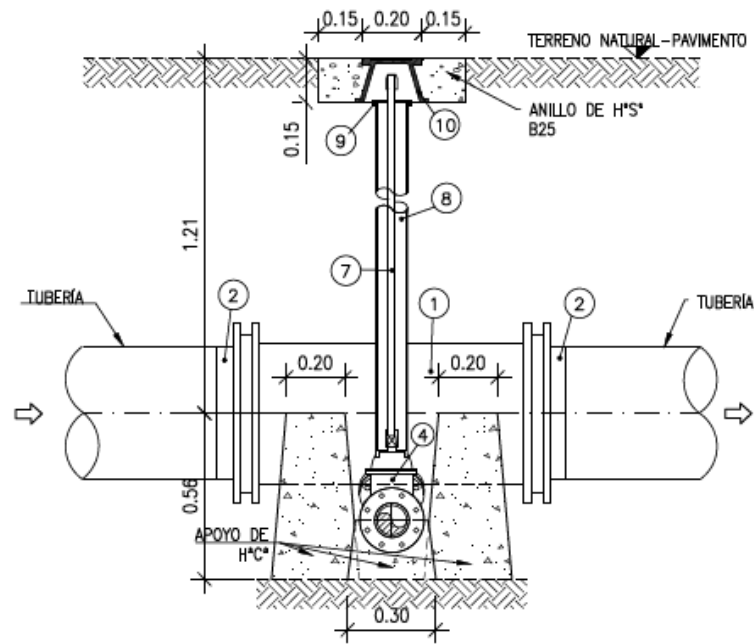
Los sedimentos acumulados en los puntos bajos de la línea de conducción con topografía accidentada, provocan la reducción del área de flujo del agua, siendo necesario instalar válvulas de purga que permitan periódicamente la limpieza de tramos de tuberías (Ver Figura 5.11).

Figura 5.11: VÁLVULA DE PURGA



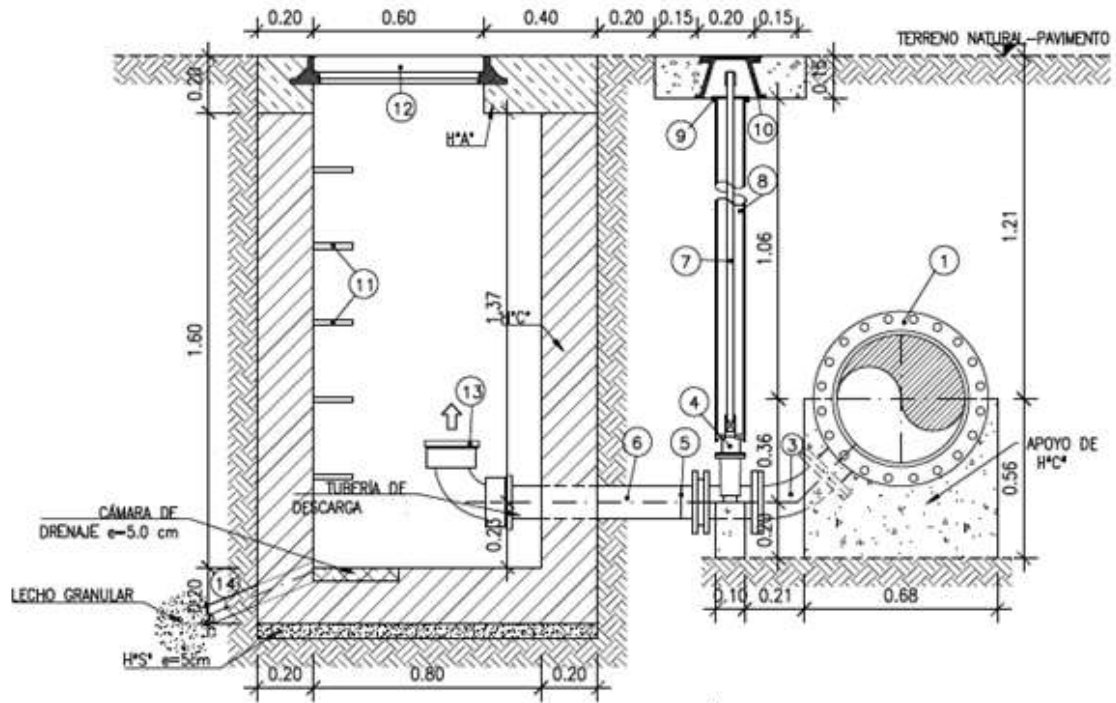
Fuente: (EMAGUA, 2017)

Figura 5.12: VÁLVULAS DE PURGA SECCIÓN A-A



Fuente: (EMAGUA, 2017)

Figura 5.13: VÁLVULAS DE PURGA SECCIÓN B-B



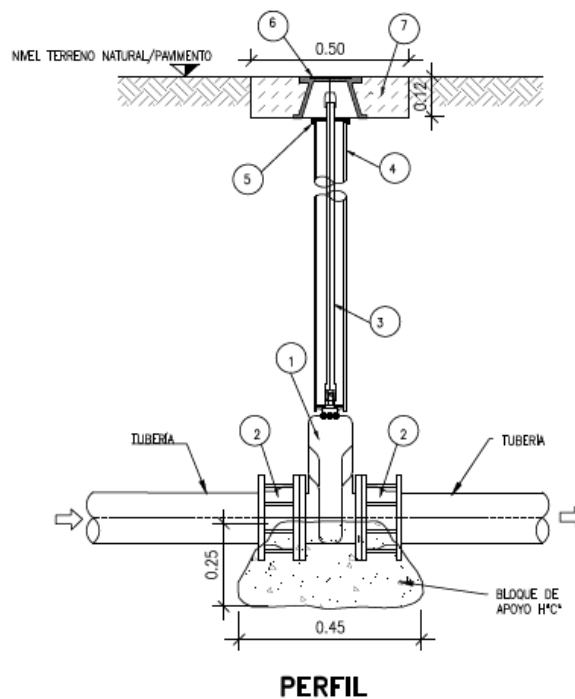
Fuente: (EMAGUA, 2017)

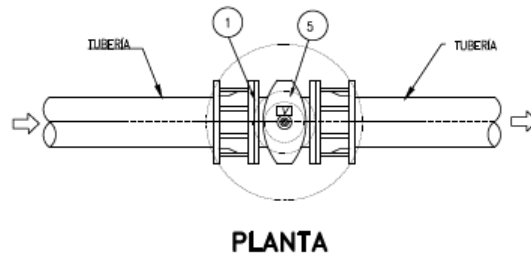
TABLA 5 7: COMPONENTES DE LA VÁLVULA DE PURGA

Nº	Descripción	Unidad
1	Tee FFD brida/brida	pza
	Tee DN 450x100 FFD brida/brida	pza
	Tee DN 400x100 FFD brida/brida	pza
2	Adaptador	pza
	Adaptador brida (stub end corto)	pza
	Adaptador brida/campana	pza
3	codo de 45° brida/brida	pza
4	Válvula tipo compuerta (serie corta) brida/brida	pza
5	Adaptador brida (stub end corto)	m
6	Tubería	pza
7	Vástago de extensión	m
8	Tubo de protección de PVC	pza
9	Guía de vástago de acero	pza
10	Cubre válvula de FFD	pza
11	Peldaños de acero corrugado	pza
12	Tapa FFD	pza
13	Codo de 90°	pza

Fuente: propia

5.9.3 Válvula de cierre



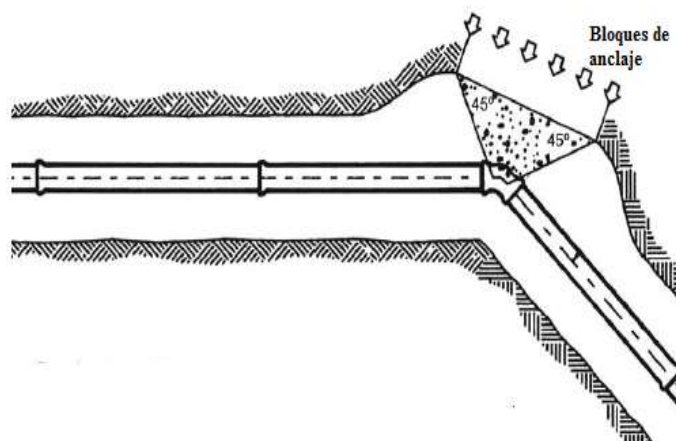


N°	Descripción	Unidad
1	Válvula de compuerta FFD. Brida-brida	pza
2	Adaptador brida universal	pza
3	Vástago de extensión	pza
4	Tubo de protección de PVC	m
5	Guía de vástago de acero	pza
6	Cubre válvula FFD	pza
7	Anillo de H° S°	m3

5.9.4 Bloques de anclaje

Aunque los bloques de anclaje por lo general son hechos de concreto, maderas duras o piedras se utilizan de vez en cuando. El concreto debe ser de buena calidad ya que transmite la fuerza de empuje desde la conexión al suelo no perturbado.

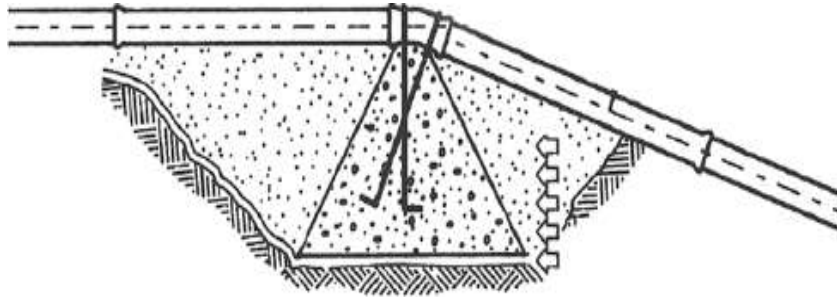
Figura 5.14: BLOQUE DE EMPUJE DE SOPORTE



Fuente: (dipra, 2016)

Los bloques de empuje en las conexiones están ubicados hacia donde la fuerza resultante del empuje se dirige. Las ilustraciones muestran típicos bloques de empuje de soporte y de empuje de gravedad.

Figura 5.15: BLOQUE DE EMPUJE DE GRAVEDAD



Fuente: (dipra, 2016)

5.9.5 Medidas para evitar el fenómeno de golpe de ariete

- Limitación de la velocidad en las tuberías.
- Cierre lento de válvulas y registros, construcción de piezas que no permitan la obstrucción muy rápida.
- Empleo de válvulas y dispositivos mecánicos especiales, válvulas de alivio.
- Utilización de tuberías que puedan soportar sobrepresiones ocasionadas por el golpe de ariete.
- Construcción de pozos de oscilación capaces de absorber los golpes, permitiendo la oscilación de agua. Esta solución es adoptada siempre que las condiciones topográficas sean favorables y las alturas geométricas pequeñas.
- Instalación de cámaras de aire comprimidas que proporcionen el amortiguamiento de los golpes. El mantenimiento de estos dispositivos requieren ciertos cuidados, para que se mantenga el aire comprimido en las cámaras.

5.10 Costos de las alternativas

El análisis de costos directos para cada alternativa se muestra en *Anexo VII, VIII y IX*

ALTERNATIVA 1

TABLA 5-11: COSTOS ALTERNATIVA 1 (PVC)

PRESUPUESTO TOTAL					
Ítem n°	Descripción	Unid	Cantidad	P. U. total	Costo p/ítem
1	Excavación manual tierra común	m3	15778.6	39.4	621282.5
2	Cama de asiento para tubos	m3	1031.9	112.6	116177.6
3	Prov y tend. tubo PVC 18" C-12	ml	800.0	788.2	630525.6
4	Prov y tend. tubo PVC 18" C-9	ml	2400.0	613.5	1472516.7
5	Prov y tend. tubo PVC 18" C-6	ml	1920.0	412.1	791200.4
6	Prov y tend. tubo PVC 16" C-15	ml	4458.7	757.7	3378543.0
7	Prov y tend. tubo PVC 16" C-12	ml	2680.0	623.4	1670771.0
8	Relleno tierra cernida	m3	4209.0	23.6	99437.3
9	Relleno y compactado	m3	8771.1	15.8	138145.4
TOTAL				Bs	8918599.5
				\$u\$	1281408.0

TABLA 5-12: COSTOS ALTERNATIVA 1 (PRFV)

PRESUPUESTO TOTAL					
ítem n°	Descripción	Unid	Cantidad	P. U. total	costo p/ítem
1	Excavación manual tierra común	m3	14301.0	39.4	563101
2	Cama de asiento para tubos	m3	1005.4	112.6	113191
3	Prov y tend. tub. PRFV DN 450 mm, PN 16Bar	ml	2280.0	885.6	2019257
4	Prov y tend. tub. PRFV DN 450 mm, PN 10Bar	ml	3800.0	779.1	2960517
5	Prov y tend. tub. PRFV DN 450 mm, PN 6Bar	ml	1440.0	661.2	952175
6	Prov y tend. tub. PRFV DN 450 mm, PN 1Bar	ml	400.0	532.4	212979
7	Prov y tend. tub. PRFV DN 400 mm, PN 16Bar	ml	4338.7	742.6	3222026
8	Relleno tierra cernida	m3	6032.2	23.6	142512
9	Relleno y compactado	m3	5458.5	15.8	85972
TOTAL				Bs	10271730
				\$u\$	1475823

TABLA 5-13: COSTOS ALTERNATIVA 1 (FFD)

PRESUPUESTO TOTAL					
Ítem n°	descripción	Unidad	Cantidad	P. U. Total	Costo p/ítem
1	Bloque de apoyo H°S° 1:2:3	pza	2044	77	156833
2	Revestimiento externo	m3	657	21	13982
3	Prov y tend. tubo FFD 450 mm K=9	ml	11200	1344	15054777
4	Prov y tend. tubo FFD 400 mm K=9	ml	1059	1124	1189696
TOTAL				Bs	16415289
				\$u\$	2358518

ALTERNATIVA 2.

TABLA 5-14: COSTOS ALTERNATIVA 2 (PVC)

PRESUPUESTO TOTAL					
Ítem n°	descripción	Unidad	Cantidad	P. U. Total	Costo p/ítem
1	Retiro de la tapa del canal	m3	12258.73	25	306184.8
2	Cama de asiento para tubos	m3	661.97	113	74528.9
3	Prov y tend. tubo PVC 16" C-15	ml	4458.73	956	4260517.3
4	Prov y tend. tubo PVC 16" C-12	ml	3480.00	780	2714366.2
5	Prov y tend. tubo PVC 16" C-9	ml	2480.00	608	1507133.9
6	Prov y tend. tubo PVC 16" C-6	ml	1840.00	411	756945.7
7	Relleno tierra cernida	m3	1107.41	87	95929.2
8	Tapado del canal	ml	12258.73	19	235680.2
TOTAL				Bs	9951286
				\$u\$	1429783

TABLA 5-15: COSTOS ALTERNATIVA 2 (FFD)

PRESUPUESTO TOTAL					
ITEM N°	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. Total	COSTO P/ITEM
1	Bloque de apoyo H°S° 1:2:3	ml	2044	77	156833
2	Revestimiento externo	m3	657	21	13982
4	Prov y tend. tubo FFD 400 mm K=9	ml	12259	1124	13775151
TOTAL				Bs	13945966
				\$u\$	2003731

TABLA 5-16: COSTOS ALTERNATIVA 2 (PRFV)

PRESUPUESTO TOTAL					
Ítem n°	Descripción	Unid	Cantidad	P. U. Total	Costo p/ítem
1	Retiro de la tapa del canal	ml	12258.7	25.0	306458
2	Cama de asiento para tubos	m3	662.0	112.6	74529
3	Prov y tend. tub. PRFV DN 400 mm, PN 16 Bar	ml	6618.7	742.6	4915199
4	Prov y tend. tub. PRFV DN 400 mm, PN 10 Bar	ml	3800.0	658.2	2501154
5	Prov y tend. tub. PRFV DN 400 mm, PN 6 Bar	ml	1440.0	607.9	875355
6	Prov y tend. tub. PRFV DN 400 mm, PN 1 Bar	ml	400.0	505.8	202305
7	Relleno tierra cernida	m3	1107.4	23.6	26163
8	Tapado del canal	ml	12258.7	19.2	235680
TOTAL				Bs	8901163
				\$u\$	1278903

ALTERNATIVA 3.

TABLA 5-17: COSTOS ALTERNATIVA 3 (PVC)

PRESUPUESTO TOTAL					
Ítem n°	Descripción	Unidad	Cantidad	P. U. Total	Costo p/ítem
1	Excavación manual tierra común	m3	9479.9	39.4	373272.0
2	Cama de asiento para tubos	m3	735.5	112.6	82809.9
3	Prov y tend. tubo PVC 8" C-15	ml	1000.0	246.8	246848.0
4	Prov y tend. tubo PVC 8" C-12	ml	3480.0	207.2	720996.6
5	Prov y tend. tubo PVC 8" C-9	ml	2480.0	157.2	389931.6
6	Prov y tend. tubo PVC 8" C-6	ml	1840.0	138.7	255158.4
7	Prov y tend. tubo PVC 6" C-15	ml	3458.9	164.3	568442.4
8	Relleno tierra cernida	m3	2144.0	23.6	50651.5
9	Relleno y compactado	m3	6252.0	15.8	98468.2
10	Retiro de la tapa del canal	ml	12258.7	25.0	306184.8
11	Cama de asiento para tubos	m3	662.0	112.6	74528.9
12	Prov y tend. tubo PVC 16" C-15	ml	4458.7	955.5	4260517.3
13	Prov y tend. tubo PVC 16" C-12	ml	3480.0	780.0	2714366.2
14	Prov y tend. tubo PVC 16" C-9	ml	2480.0	607.7	1507133.9
15	Prov y tend. tubo PVC 16" C-6	ml	1840.0	411.4	756945.7
16	Relleno tierra cernida	m3	1107.4	86.6	95929.2
17	Tapado del canal	ml	12258.7	19.2	235680.2
TOTAL				Bs	12737865
				\$u\$	1830153

TABLA 5-18: COSTOS ALTERNATIVA 3 (PRFV)

PRESUPUESTO TOTAL					
Ítem n°	Descripción	Unid	Cantidad	P. U. Total	Costo p/ítem
1	Retiro de la tapa del canal	ml	12258.73	25.00	306458.29
2	Cama de asiento para tubos	m3	661.97	112.59	74528.88
3	Prov y tend. tub. PRFV DN 400 mm, PN 6 Bar	ml	1040.00	620.02	644817.40
4	Prov y tend. tub. PRFV DN 400 mm, PN 1 Bar	ml	400.00	517.89	207157.30
5	Prov y tend. tub. PRFV DN 350 mm, PN 16 Bar	ml	6618.73	666.92	4414180.22
6	Prov y tend. tub. PRFV DN 350 mm, PN 10 Bar	ml	3800.00	598.98	2276114.63
7	Prov y tend. tub. PRFV DN 350 mm, PN 6 Bar	ml	400.00	566.88	226750.77
8	Relleno tierra cernida	m3	1132.96	86.63	98143.08
9	Tapado del canal	ml	12258.73	19.23	235680.21
10	Excavación manual tierra común	m3	8849.27	39.38	348440.03
11	Cama de asiento para tubos	m3	482.69	112.59	54343.97
12	Prov y tend. tub. PRFV DN 300 mm, PN 16 Bar	ml	6618.73	591.85	3917287.65
13	Prov y tend. tub. PRFV DN 300 mm, PN 10 Bar	ml	3800.00	542.62	2061948.31
14	Prov y tend. tub. PRFV DN 300 mm, PN 6 Bar	ml	1440.00	430.85	620423.88
15	Prov y tend. tub. PRFV DN 300 mm, PN 1 Bar	ml	400.00	417.30	166918.61
16	Relleno tierra cernida	m3	2896.12	23.63	68420.95
17	Relleno y compactado	m3	4603.94	15.75	72512.05
TOTAL				Bs	15794126
				\$u\$	2269271

ALTERNATIVA 4.

TABLA 5-19: COSTOS ALTERNATIVA 4 (PVC C-6)

PRESUPUESTO TOTAL					
ITEM N°	DESCRIPCION	UNID	CANTIDAD	P. U. TOTAL	COSTO P/ITEM
1	Excavación manual tierra común	m3	17731.0	39.4	698157.2
2	Cama de asiento para tubos	m3	1132.5	112.6	127502.3
4	Prov y tend. tubo PVC 20" C-6	ml	4640	528.6	2452831.6
5	Prov y tend. tubo PVC 18" C-6	ml	5899	412.1	2430769.5
6	Prov y tend. tubo PVC 14" C-6	ml	1720	254.9	438378.5
8	Relleno tierra cernida	m3	4893	23.6	115589.6
9	Relleno y compactado	m3	9626	15.8	151611.5
TOTAL				Bs	6414840.3
				\$u\$	921672.5

TABLA 5-20: COSTOS ALTERNATIVA 4 (PVC C-9 Y C-9)

PRESUPUESTO TOTAL					
ITEM N°	DESCRIPCION	UNID	CANTIDAD	P. U. TOTAL	COSTO P/ITEM
1	Excavación manual tierra común	m3	16772.7	39.4	660426.0
2	Cama de asiento para tubos	m3	1086.1	112.6	122278.3
4	Prov y tend. tubo PVC 18" C-9	ml	4139	613.5	2539312.1
5	Prov y tend. tubo PVC 18" C-6	ml	6400	412.1	2637334.7
6	Prov y tend. tubo PVC 14" C-6	ml	1720	254.9	438378.5
8	Relleno tierra cernida	m3	4554	23.6	107586.2
9	Relleno y compactado	m3	9232	15.8	145399.7
TOTAL				Bs	6650715.5
				\$u\$	955562.6

5.11 Análisis de resultados obtenidos

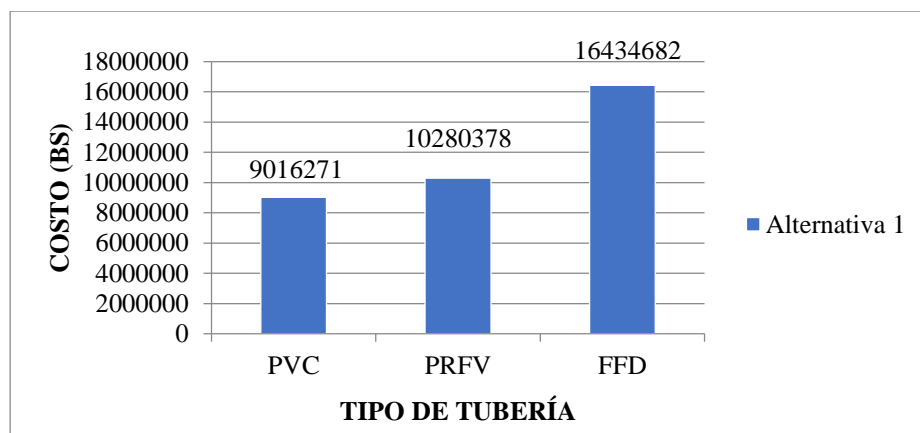
ALTERNATIVA 1.

TABLA 5-21: TABLA RESUMEN ALTERNATIVA 1

PRESUPUESTO TOTAL (BS)			
Q (l/s)	PVC	PRFV	FFD
334	8918599	10271730	16415289

Fuente: propia

Figura 5.16: COSTO ALTERNATIVA 1



Fuente: propia

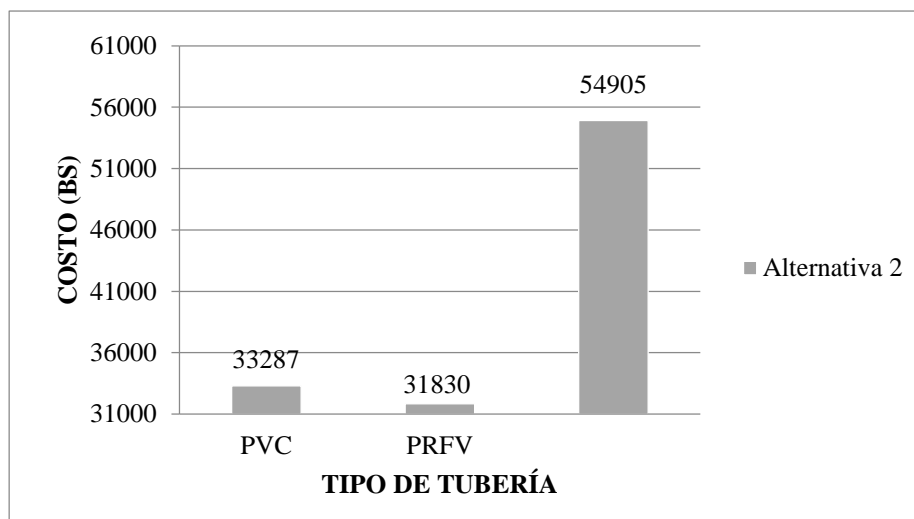
ALTERNATIVA 2.

TABLA 5-22: TABLA RESUMEN ALTERNATIVA 2

Material	Q1 (l/s)	Costo (Bs)	Costo Bs * (l/s)
PVC	300	9986059	33287
PRFV	280	8912471	31830
FFD	254	13945966	54905

Fuente: propia

Figura 5.17: COSTO ALTERNATIVA 2



Fuente: propia

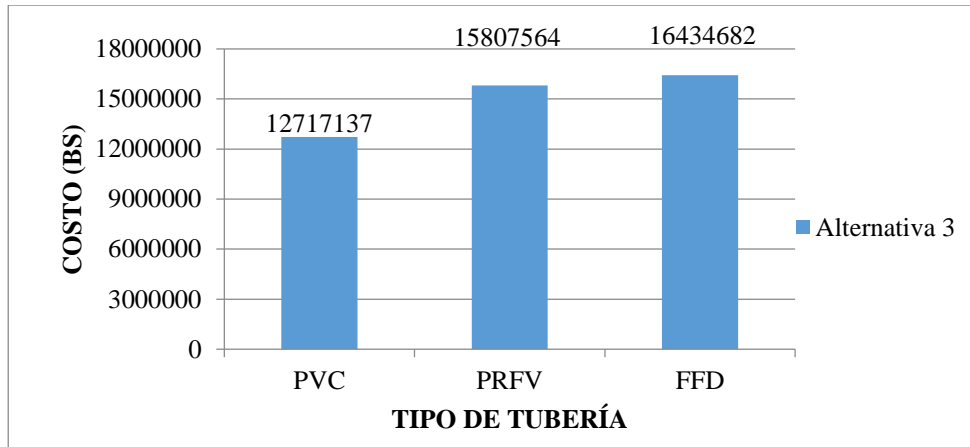
ALTERNATIVA 3.

TABLA 5-23: TABLA RESUMEN ALTERNATIVA 3

Q (l/s)	PRESUPUESTO TOTAL (BS)		
	PVC	PRFV	FFD
334	12737865	15794126	16415289

Fuente: propia

Figura 5.18: COSTO ALTERNATIVA 3



Fuente: propia

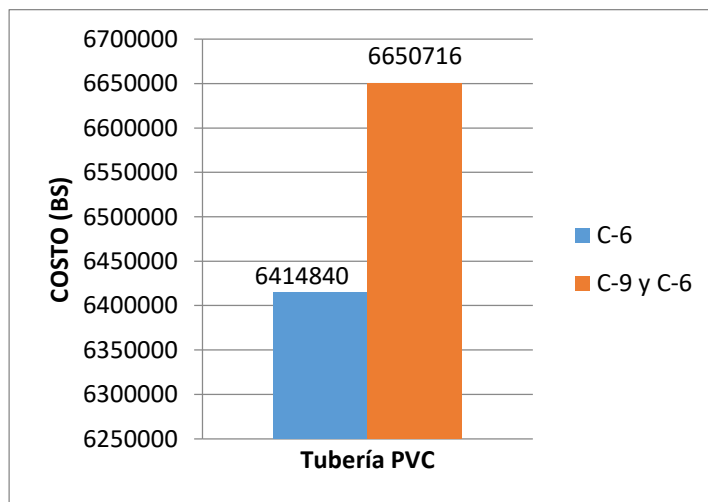
ALTERNATIVA 4.

TABLA 5-24: TABLA RESUMEN ALTERNATIVA 4

PRESUPUESTO TOTAL (BS)		
PVC		
Q (l/s)	Clase 6	Clase 9 y 6
334	6414840	6650716

Fuente: propia

Figura 5.19: COSTO ALTERNATIVA 4



Fuente: propia

5.12 Selección de la mejor alternativa

Hipótesis 1: Sin tomar en cuenta la vida útil

La mejor alternativa será la tubería PVC con el diseño de la alternativa 1, con un costo de 8918599 bs. siendo el 14 % más económica que la tubería PRFV y un 82 % que la tubería FFD.

Hipótesis 1: Tomando en cuenta la vida útil

Para esta hipótesis se tomó en cuenta la vida útil de cada material, resultando el costo por año como se muestra en la siguiente tabla. Siento la mejor alternativa la tubería FFD.

Q (l/s)	PRESUPUESTO TOTAL (BS* año)		
	PVC 50 años	PRFV 50 años	FFD 100 años
334	180325	205608	164347

Nota: Para la alternativa 4 solo se obtuvo los costos directos de tubería instalada, sin tomar en cuenta el costo de las cámaras rompe presión y válvulas.

El costo de esta alternativa es:

- **Para clase 6:** 6414840.3 bs
- **Para clase 9 y clase 6 :** 6650715.5 bs

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se llegó luego de culminar con el presente estudio y realizar la aplicación práctica son las siguientes:

Análisis hidráulico

- a) El coeficiente de rugosidad absoluta para el FFD es de 0.1mm, del PRFV es 0.029 mm y al compararlo con el coeficiente de rugosidad absoluta del PVC, el cual es 0.0015mm, podemos concluir que el PVC es más liso, por lo tanto las pérdidas de carga son diferentes para los distintos materiales.
- b) Para la optimización de los diámetros en el cálculo hidráulico, se utilizó el criterio de Williams y Hazen, y para el cálculo de las perdidas por fricción la ecuación de Darcy Weisbach, las pérdidas de carga calculadas y obtenidas para 100 m son las siguientes:

Caudal [lts/seg]	D [mm]	PVC		PRFV		FFD	
		F	hc [m]	f	hc [m]	f	hc [m]
334	300.0	0.01132	39.7	0.01312	49.8	0.01581	60.0
334	350.0	0.01158	18.8	0.01307	22.9	0.01547	27.1
334	400.0	0.01183	9.8	0.01307	11.8	0.01522	13.7
334	450.0	0.01206	5.6	0.01311	6.5	0.01505	7.5
334	500.0	0.01227	3.3	0.01317	3.9	0.01492	4.4

- c) La topografía juega un papel muy importante al momento de realizar el diseño de una aducción, la topografía del terreno define el fácil o difícil acceso para la instalación de la tubería.

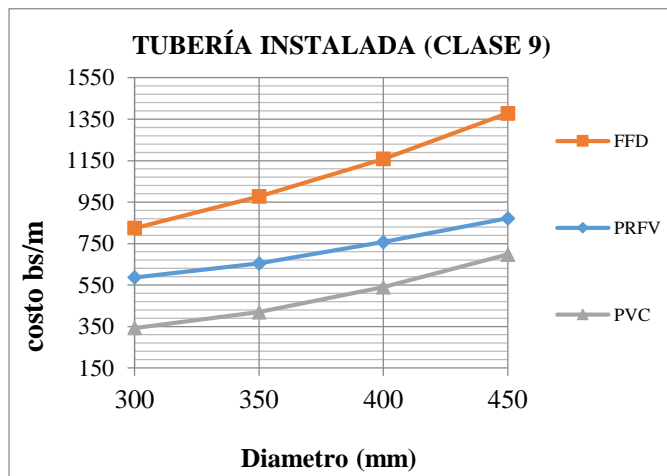
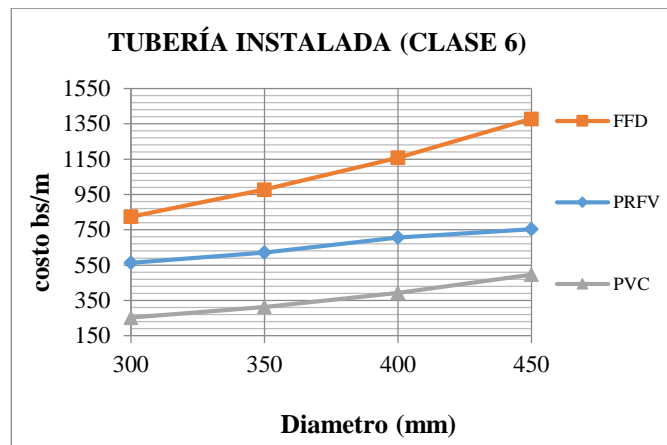
Análisis técnico

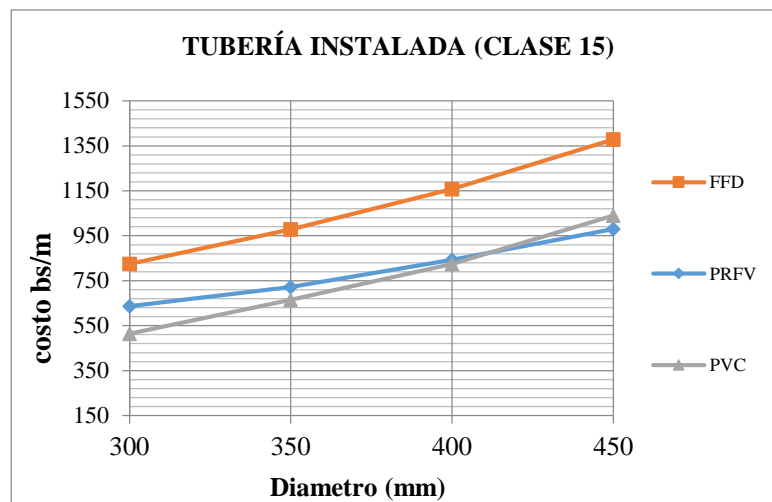
En el diseño de la aducción, se tomó en cuenta la información técnica y teóricas de los tres tipos de tuberías en análisis, garantizando así, que las propuestas de diseño presentadas cumplen con los requerimientos establecidos, además podemos decir que

cada una presenta distintas características, cada cual tiene sus ventajas y desventajas, pero la tubería PVC y PRFV son para uso de condiciones similares, en cambio la tubería FFD, es para condiciones distintas, recomendándose a utilizar en terreno rocoso o donde se requiera resistir altas presiones.

Análisis económico

Si analizamos el costo de tubería instalada podemos llegar a la conclusión de que hasta 350 mm de diámetro es más económica la tubería PVC, y a partir de 350 mm de diámetro la tubería PRFV. En el caso de la tubería FFD es mucho más cara que las otras dos tuberías debido a que presenta características diferentes y sería comparable para cuando se utilizan altas presiones. En las gráficas siguientes se muestra los resultados.





Aplicación practica

Una vez realizado el cálculo hidráulico del tramo de la aplicación práctica se llega a lo siguiente:

- De acuerdo a la NB 689, 2004, la velocidad máxima en la aducción deberá ser de acuerdo a los valores obtenidos de acuerdo a la Tabla 2 1. Por tanto se concluye que el diseño cumple con la normativa vigente dado que la velocidad máxima es de 2.7 m/s.

En cuanto a lo económico podemos afirmar que:

- Para la alternativa 1 resulta ser la tubería PVC la más económica.
- En la alternativa 2 para llevar la tubería dentro del canal es más económica la tubería PRFV solo que esta transporta menos caudal que la tubería PVC
- De la alternativa 3 se puede concluir que ésta resulta más cara que las otras dos alternativas.
- En cuanto a la tubería FFD en las 3 alternativas resulta la más cara, pero tal vez la alternativa técnicamente más viable.
- De la 3 alternativas, sin tomar en cuenta la vida útil se escogió la tubería PVC con un costo directo de 9016271 bs con el diseño de la alternativa 1.

- Para la alternativa 4 se optimizó los diámetros y clases del diseño de la alternativa 1 PVC, adecuando el diseño mediante el colocando de cámaras rompe presión y válvulas. Obteniendo un costo menor de 6414840.3 bs

RECOMENDACIONES

- Para complementar el estudio, es necesario realizar el análisis con otros tipos de tuberías que estén ingresando al mercado, una de ellas es la tubería HDPE (por sus siglas en inglés, (High Density Polyethylene) o PEAD (Polietileno de alta densidad).
- Para poder comparar de manera correcta la tubería FFD se tiene que buscar tuberías que sean de características similares para que así pueda ser económicamente comparativa.
- Es importante realizar un análisis a mayor profundidad sobre la vida útil de las tuberías e incluir esta al momento de poder elegir la mejor alternativa.
- Realizar el diseño mediante el uso del software WATERCAD que permite generar diferentes escenarios en los cuales se podrán variar diferentes elementos que componen el sistema tales como: diámetro y material de tuberías, restricciones de velocidad, etc., además es una herramienta que puede ahorrar tiempo.
- En cuanto a la aplicación práctica, es importante, mediante un estudio a futuro buscar la posibilidad de buscar un nuevo trazo, planteando en primer lugar hacer un estudio social con las comunidades que serán afectadas con este diseño.